الوقاية في الشبكات الكهربائية

الأساسيات والمكونات

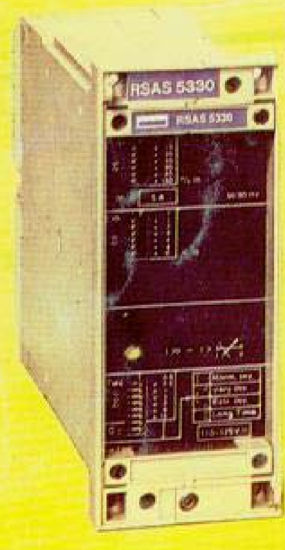
(الكهرومغناطيسية والإستاتيكية والرقمية)

الجزء الأول

PROTECTION OF
Electrical Networks

دكتور مهندس

كاميليا يوسف محمد





مراجعة

دكتور مهندس

فـــايق فـــريـد

الوقاية في الشبكات الكهربائية

الأساسيات والمكونات

(الكهرومغناطيسية والإستاتيكية والرقمية)

الجزء الأول

دكتور مهندس

كاميليا يوسف محمد

مراجعة

دكتور مهندس

فايق فريد

الطبعة الأولى - فبراير ١٩٩٣
الطبعة الثانية - يناير ١٩٩٦
الطبعة الثالثة - ديسمبر ٢٠٠١
الطبعة الرابعة - نوفمبر ٢٠٠٦

تصميم الغلاف
م / أحمد طه هاشم

بسم الله الرحمن الرحيم

" قالوا سبحانك لاعلم لنا إلا ماعلمتنا إنك أنت العليم الحكيم "

صدق الله العظيم

بسم الله الرحمن الرحيم

مقدمة

يتميز علم الوقاية بكثرة المصطلحات وقد تعود المهندسون القائمون بالعمل فى هذا المجال على هذه المصطلحات باللغة الانجليزية ، لذلك لم يكن من السهل الكتابة باللغة العربية فى هذا العلم ، ولكن نظراً إلى الإتجاه الى تعريب العلوم عامة فقد شجعنى ذلك للكتابة فى علم الوقاية .

وقد كان استقرار الشبكة القومية للكهرباء فى مصر وتوجيهات السيد المهندس / محمد ماهر أباظة وزير الكهرباء والطاقة ودفعه لمزيد من الاستقرار دافعاً ومشجعاً لمحاولة متواضعة للكتابة فى علم الوقاية .

ولا يفوتنى أن أتقدم بالشكر للسيد المهندس / أحمد مصطفى المفتى رئيس مجلس الادارة والعضو المنتدب باسمى واسم المهندسين والفنيين اللذين استفادوا بمجموعة الكتب التى صدرت باللغة العربية وعلى استمرار تشجيع سيادته الدائم للبحث العلمى .

وقد قام بمراجعة الكتاب السيد الدكتور المهندس / فايق فريد الذى بذل جهداً مشكوراً فى المساهمة فى اخراج هذا الكتاب على هذه الصورة .

وقد وافق السيد المهندس / رئيس مجلس الادارة على طباعة الكتاب على نفقة الشركة بدار الجامعيين للطباعة والنشر والتى قامت بجهد مشرف فى طباعتة واخراجه على هذا النحو .

وفقنا الله الى ما فيه خير بلدنا ، وصلى اللهم على سيدنا محمد وعلى آله وصحبه .

الاسكندرية فى فبراير ١٩٩٣
الموافق رمضان ١٤١٣

د . كاميليا يوسف محمد

بسم الله الرحمن الرحيم

مقـــدمة

تمثل متممات الوقاية أهمية خاصة فى نظم القوى الكهربائية فهى المسئولة عن الاحساس بأى عطل أو خلل قد يطرأ فى أى مكون من هذه النظم بدءاً من التوليد الى النقل الى التوزيع ثم الاستخدام ، وبعد احساسها بذلك العطل فإنها تقوم بإصدار الأمر الى المهمات المختصة بعزل ذلك العطل أو الخللبشكل انتقائى يستهدف استمرار التغذية الكهربائية فى باقى النظام مع المحافظة على سلامة المهمات والأفراد .

وانطلاقاً من هذه الأهمية كان التطور فى متممات ونظم الوقاية مستمراً للأخذ بنتائج التطورات التكنولوچية ونتائج البحوث المستمرة فى نظريات الوقاية ذاتها .

وبعد التطورات المستمرة فى متممات الوقاية الكهرومغناطيسية جاءت متممات الوقاية الاستاتيكية والرقمية ثم الوقاية باستخدام الكمبيوترات .

وقد دفعت هذه التطورات السريعة مؤلفة الكتاب الى اعداد كتاب عن الوقاية تقدم فيه كل ذلك مع التركيز على متممات الوقاية الاستاتيكية والرقمية كى يكون تحت ايدى المهندسين المشتغلين بالوقاية .

وايماناً منها بأهمية نقل المعرفة باللغة القومية فقد أعد الكتاب باللغة العربية فى وقت لم يتم فيه تعريب العلوم الهندسية . وتطلب كل ذلك التصدى للمصطلحات والتعبير الهندسى فجاء هذا الكتاب الذى يعنى جهداً دوءباً مبذولاً تخطى كل هذه المصاعب .

واستشعاراً لأهمية ذلك العمل فقد سعدت بدعوتى لمراجعة ذلك المؤلف راجياً أن يسهم جهدى المتواضع مع الجهد الأساسى للمؤلفة حتى يخرج الكتاب فى الصورة المأمولة .

ويقع هذا الكتاب فى ثلاثة أجزاء :

الجزء الأول : يغطى متممات الوقاية الكهرومغناطيسية ونظرية تشغيلها ومكونات الوقاية الاستاتيكية واستخداماتها والدوائر الالكترونية والدوائر المتكاملة .



وان شاء الله يتبع ذلك جزءين هما :

الجزء الثانى : ويتناول نظم الوقاية من زيادة التيار والتسرب الأرضى وزيادة وانخفاض الجهد والأجهزة الاتجاهية والتفاضلية والمسافية والموجات المحملة وفصل الاحمال والتعشيق الذاتى .

الجزء الثالث : ويتناول تطبيقات الوقاية للخطوط والكابلات والمحولات والمولدات والممانعات والمحركات والقضبان الرئيسية ووسائل الاختبار .

وفى ختام هذه المقدمة كم نود أن يحقق هذا الكتاب الفائدة المستهدفة فى هذا الميدان .

والله الموفق

القاهرة فى فبراير ١٩٩٣

دكتور فايق فريد

فهـــرس

الاصطلاحات الشائعة فى المتممات

Glossary of common Relay Terms

١- متمم *Relay*

عبارة عن جهاز يمكن عن طريقه التحكم آلياً فى دائرة كهربائية (مثل دائرة انذار معينة ، او دائرة فصل قاطع التيار) وتوجد انواع مختلفة من هذه المتممات ولها استخدامات متعددة حسب خاصية كل نوع.والمتمم هو احد المكونات الرئيسة لنظام الوقاية .

٢- متمم وقائى *Protective Relay*

هو جهاز كهربى يستخدم لوقاية المعدات الكهربائية ويحتوى اساساً على ملف ونقط تلامس ، يضبط عند كمية كهربية معينة يعمل عندها وتقفل نقطة التلامس وتعطى اشارة كهربية لبداية تشغيل دائرة انذار او دائرة فصل او كليهما .

٣- متمم قياس *Measuring Relay*

هو متمم يضبط عند قيمة معينة ، ويعمل عند وصول الكمية الكهربائية لهذه القيمة ، ويقوم بعمل قياسات معينة خاصة بنظم الوقاية .

٤- متمم مساعد *Auxiliary Relay*

هو متمم لايحتوى على وسيلة ضبط وبالتالى لايعمل عند كمية كهربائية معينة ، ولكن يكون مساعداً للمتممات الاساسية ، حيث يمكن الحصول منه على عدد من نقط التلامس لاستخدامها فى اغراض مختلفة .

٥- متمم لحظى *Instantenous Relay*

هو متمم سريع التشغيل ـ زمنه حوالى ٠,٢ ثانية ـ ولايحتوى على عنصر تأخير زمنى *(Time Lag)* .

٦- متمم ذو زمن عكسى *Inverse Time Relay*

هو متمم له خاصية عكسية بين الزمن والتيار فكلما زاد التيار ، المار بملف المتمم عن

قيمة التشغيل الاولية ، كلما انخفض زمن تشغيله .

٧ - متمم كهرومغناطيسى *Electromagnetic Relay*

عبارة عن جهاز تقليدى ، يحتوى على اجزاء متحركة،يتم عن طريقة قياس او مقارنة كميات كهربية .

٨ - متمم استاتيكى *Static Relay*

يتكون من عناصر استاتيكية او دوائر كهربائية غير متحركة *(Stationary)* ، يتم عن طريقة قياس او مقارنة كميات كهربائية .

٩- متمم حياز *Biased Relay*

هو متمم له خصائص معدلة ويحتوى على أجزاء ميكانيكية او كهرومغناطيسية ويعدل ضبطه عن طريق ملفات اضافية .

١٠ - متمم وقاية ضد زيادة التيار *Overcurrent Relay*

هو متمم يعمل عند زيادة قيمة التيار المار فيه عن حد معين .

١١ - متمم الاعطال الارضية *Earth Fault Relay*

هو متمم يعمل عند زيادة قيمة تيار الارض عن حد معين

١٢ - اللقط *Pick - up*

يتم ضبط المتمم عند قيمة معينة ، وعند تسليط هذه القيمة على ملف المتمم فان نقط التلامس الخاصة به تقفل ويطلق على هذه العملية ان المتمم قد لقط .

وقيمة الضبط او قيمة مستوى اللقط هى قيمة كمية تشغيل البداية للمتمم ، فمثلاً عند حقن متمم الوقاية ضد زيادة التيار بقيمة تيار صغيره ثم نبدأ فى زيادة القيمة حتى يلقط المتمم ، اى تقفل نقط التلامس فيقال ان المتمم لقط عند قيمة ، على الاقل ، مساوية لقيمة الضبط .

١٣ - قيمة الاستعادة *Reset or Drop Out*

هى القيمة التى يعود عندها المتمم الى حالته العادية ، اى القيمة التى تستعيد عندها نقطة التلامس وضعها الاصلى .

١٤ - دائرة الفصل *Trip Circuit*

هى الدائرة الكهربائية التى تتحكم فى فصل قاطع التيار ، وتتكون من : ملف فصل قاطع التيار ـ ونقط تلامس متمم الوقاية ـ ونقط تلامس مساعدة ـ وملف مساعد ـ ومصدر تغذية تيار مستمر *(d.c)* .

١٥ - المفاتيح المساعدة *Auxiliary Switches*

هى مجموعة نقط تلامس مساعدة ، ملحقة بالقاطع الرئيسى او السكاكين العازلة وتعتمد فى حركتها على الحركة الميكانيكية للقاطع او السكينة . ويمكن ان تأخذ مجموعة نقط التلامس احدى هذه الحالات :

* جميع نقط التلامس مفتوحة وتتغير الى وضع القفل عند توصيل القاطع .
* بعض نقط التلامس مفتوحة وبعضها مقفولة ويتغير وضعها الى العكس عند توصيل القاطع .
* بعض نقط التلامس مفتوحة بزاوية حادة معينة (وليست زاوية قائمة كالنوع العادى)ويتغير وضعها الى القفل عند توصيل القاطع .

وتوجد نقط التلامس هذه فى غرفة تحكم القاطع وليست فى غرفة اطفاء الشرارة ، وتستخدم فى دوائر فصل القاطع وكذلك دوائر التحكم والوشائج *(Interlock)* .

١٦- زمن عزل العطل *Fault Clearing Time*

هو الزمن بين اللحظة التى يحدث عندها العطل ولحظة انتهاء إطفاء شرارة قاطع التيار

١٧ - زمن المتمم *Relay Time*

هو الزمن من لحظة حدوث القصر وحتى قفل نقط تلامس المتمم .

١٨ - زمن القاطع *Breaker Time*

هو الزمن المأخوذ من لحظة قفل نقط تلامس المتمم وحتى نهاية قطع شرارة قاطع التيار وتكون مجموع أزمنة القاطع والمتمم تكافئ زمن عزل العطل .

١٩ - استقرار الشبكة الكهربائية *Stability of Power System*

تعرف الشبكة الكهربائية بأنها مستقرة إذا كانت جميع المولدات التزامنية بها فى حالة تزامن كل منها مع الاخرى *(In Step)* .

٢٠ - عطل أرضى *Earth Fault* **اودائرة قصر** *Short Circuit* .

هو حدوث تلامس الموصل مع الارض ، مثل : تلامس احد الاوجه مع الارض ـ تلامس وجهين مع الارض . . . . . .

٢١ - قصر بين وجهين *Phase - Phase fault*

هو حدوث تلامس بين موصلى وجهين .

٢٢ - قدرة استهلاك المتمم *Power Consumption of a Relay*

هو قيمة القدرة المستهلكة فى المتمم ـ ويعبر عنها بالفولت امبير *(VA)* فى متممات التيار المتردد بينما يعبر عنها بالوات *(Watt)* فى متممات التيار المستمر .

٢٣ - الوقاية المسافية *Distance Protection*

هو نظام الوقاية المستخدم عادة للخطوط وفيه تقاس النسبة بين الجهد والتيار والتى تعطى دلالة للمسافة بين موضع المتمم ومكان حدوث القصر على الخط .

٢٤ - الوقاية التفاضلية *Differenial Protection*

يقيس هذا النظام اختلاف المتجهات (زاوية وقيمة) بين كميتين او اكثر من الكميات الكهربائية .

٢٥ - نهج الوقاية *Protective Scheme*

هو خطة الوقاية المستخدمة لتغطية منطقة محددة (المنطقة المحمية) فمثلاً تكون خطة الوقاية المركبة على خط عبارة عن : وقاية ضد زيادة التيار ـ وقاية ضد التسرب الارضى ـ وقاية مسافية .

٢٦ - نظام الوقاية *Protective System*

عبارة عن متممات الوقاية وملحقاتها مثل : محولات التيار ومحولات الجهد ، والاسلاك ـ وعناصر القياس ـ ودوائر ثانوية ودائرة الفصل .

٢٧- اعادة التوصيل الآلى *Autoreclosure*

بعد فتح القاطع يتم اعادة توصيله آلياً مرة أخرى

٢٨- الموجات المحملة *Power Line Carrier*

يتم ارسال اشارات ذات تردد عالى على موصلات الجهد الفائق (لاغراض الاتصالات والمراقبة والوقاية)

٢٩- وحدة الوقاية *Unit Protection*

وحدة الوقاية عبارة عن المتممات المركبة لحماية المنطقة المحمية فقط وتكون المنطقة محددة بمكان محولات التيار ، ولاتكون مسئولة عن حالات القصر خارج المنطقة المحمية

٣٠- محولات التيار *Current transformers*

تستخدم لاغراض القياس او الوقاية وتبعاً لذلك يسمى محول تيار قياس او محول تيار وقاية ، او محول تيار قياس ووقاية ويعرف محول التيار بنسبة التحويل وهى النسبة بين مقنن التيار الابتدائى ومقنن التيار الثانوى . ويكون مقنن التيار بالملف الثانوى ، عادة ١ امبير او ٥ امبير ، وتيار مقنن الملف الابتدائى يتغير بين ١٠ أمبير الى ٣٠٠٠ امبير او اكثر . ويعتبر عبء محول التيار صغيراً جداًويتراوح من ٥ الى ١٥٠ ڤولت أمبير .

٣١- محولات الجهد *Voltage or Potential transformers*

تخفض محولات الجهد قيمة مقنن الجهد الابتدائى ، او قيمة الجهد العالى ، الى قيمة منخفضة تعرف بمقنن الجهد الثانوى وتكون القيمة القياسية للجهد الثانوى ١١٠ - ٢٤٠ - ٤٤٠ فولت - ويستخدم لاغراض القياسات والوقاية .

مقدمـــة

Introduction

عند تصميم الشبكات الكهربائية ، تؤخذ فى الاعتبار ، اهداف معينة منها ظروف التشغيل العادية . وطرق وقاية المعدات الكهربائية من المخاطر وتقليل الاثار الناتجة من حدوث مخاطر كهربائية وتوجد طرق كثيرة للتغلب على المخاطر ، التى يمكن ان تتعرض لها مكونات الشبكات الكهربائية منها : استخدام العازلات الكافية ، واستخدام سلك ارضى مع الخطوط الهوائية على ان تكون مقاومة البرج صغيرة جداً ، وان يتحمل تصميمها الميكانيكى الاجهادات الناتجة من حالات القصر ، وان تنفذ تعليمات الصانع لصيانة المعدات ، وعمل حساب قيمة تيار القصر وتخفيضة ان امكن من خلال ممانعات الحد من التيار اذا احتاج الامر . وتأريض نقطة التعادل حسب ظروف الشبكة الكهربائية ـ بالاضافة الى ان يتم عزل الجزء العاطل من الشبكة الكهربائية باسرع مايمكن .

وعلى ذلك فمن الضرورى ان تحتوى جميع المنشآت الكهربائية على معدات لحمايتها ضد اى اعطال ، من هذه المعدات اجهزة الوقاية الكهربائية . ولذلك عند عمل تخطيط وتصميم لاى شبكة كهربائية لايمكن ترك اى جزء فى الشبكة بدون الوقاية الكافية ويعتمد اختيار اجهزة الوقاية لمعدة معينة على عناصر مختلفة منها :

النوع ـ والقدرة ـ والموضع ـ واحتمالات التعرض لحالات غير عادية ـ والتكاليف .

هناك مميزات عديدة لنظم الوقاية منها ان متممات الوقاية تعمل على قطع مصدر التغذية الكهربائية فوراً او بعد تأخير زمنى معين ، عن جزء الشبكة الكهربائية الذى تعرض لحالة قصر او بدأ فى التشغيل غير العادى ، وتعطى دلالة جيدة جداً لنوع القصر الحادث بالاضافة الى انها تعطى دلالة لمكان ونوع العطل او يمكن ان تتحدد المنطقة التى حدث بها العطل .

يوضح شكل (١) شبكة كهربائية مكونة من : مولدات ـ محولات ـ خطوط ـ قضبان رئيسية ـ ومركب على كل معدة قاطع تيار ـ فمثلاً :

المولد رقم ١ مركب له القاطع رقم ١

المحول رقم ١ مركب له القاطعتين ٢ ، ٣

الخط (أ - ب) مركب له القاطعتين ٤ ، ٥ ..... وهكذا

اى انه عند حدوث قصر او حالة تشغيل غير عادية للمولد رقم ١ فان متممات الوقاية المركبة لوقاية المولد تعمل على فصل القاطع رقم ١ ، بينما عند حدوث قصر على المحول رقم ١ فإن متممات الوقاية المركبة لوقاية المحول تعمل على فصل القاطعتين ٢ ، ٣ وهكذا

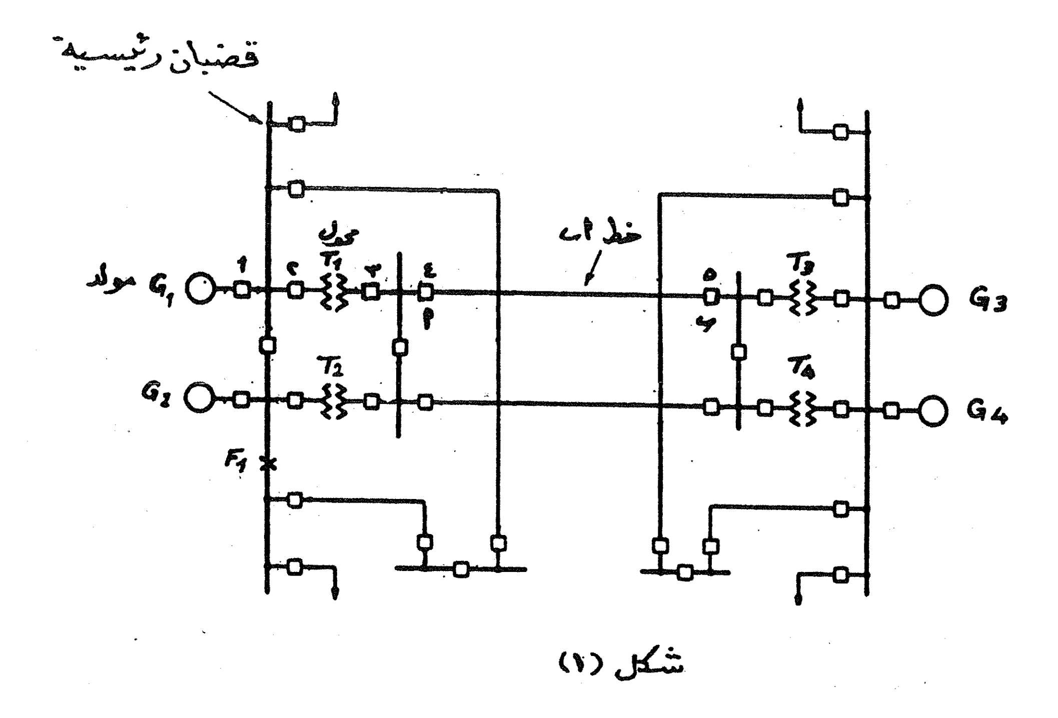
وإذا لم تكن الوقاية كافية ، ولم يفصل قاطع التيار ، فيمكن حدوث انهيار للمعدات الكهربائية وقد تحتاج لوقت طويل لاعادة اصلاحها او تغيرها . ولكن بالوقاية الكافية يمكن التغلب على الاعطال او تقليلها بقدر الامكان .

واذا تم عزل الجزء العاطل عن الشبكة الكهربائية الرئيسية بسرعة فإن الخسائر الناتجة تكون اقل ما يمكن وكذلك يمكن إصلاح الجزء العاطل بسرعة وبالتالى يمكن اعادة الوضع الى طبيعته وعلى ذلك ان متممات الوقاية تساعد على تحسين استمرارية التغذية .

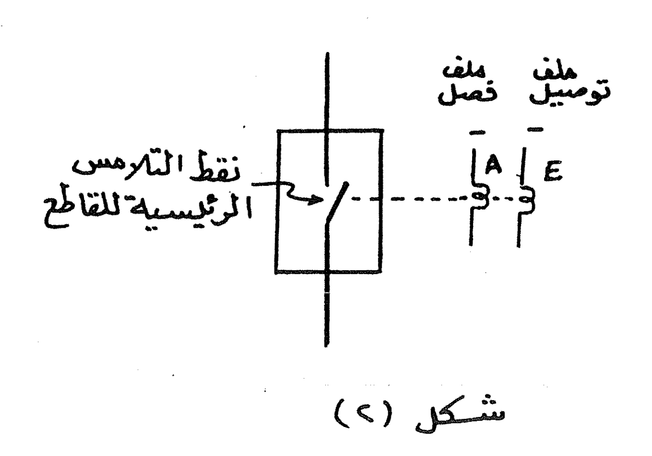
ولتوضيح فكرة عمل متممات الوقاية يجب ان نعطى اولاً فكرة مبسطة عن اسباب الاعطال فى الدوائر الكهربائية او الشبكات الكهربائية وتأثيرها وكذلك فكرة عن قواطع التيار .

يعرف العطل او القصر فى المعدات الكهربائية بحدوث عيب او خلل فى الشبكة الكهربائية نتيجة تحويل او انحراف التيار الكهربى عن مسارة العادى ، ويرجع سبب ذلك الى قطع او فتح فى الموصلات ، كما ان انهيار المادة العازلة يؤدى الى تلامس الموصل بالارض وتكو ن معاوقة العطل *(Fault Impedence)* صغيرة جداً وبالتالى يكون التيار الكهربى المار وقت العطل (تيار القصر) كبير جداً .

وعند حدوث قصر ، على جزء معين فى شبكة كهربائية ، ولم يفصل قاطع التيار المسئول عن هذا الجزء فيؤدى ذلك لحدوث انهيار المعدة التى حدث عليها القصر بالاضافة الى انهيار العازل للمعدات المغذية نتيجة مرور تيار قصر عالى جداً . واذا حدث القصر لبعض المعدات الهامة فانه يمكن ان يؤثر على استقرار نظام الشبكة الكهربائية ، فمثلاً عند حدوث قصر على القضبان الرئيسية بمحطة توليد (العطل F_1 بشكل ١) فانه يتسبب فى فصل جميع المولدات بالمحطة ، وبالتالى يوثر على استقرار


قضبان رئيسية
محول
T_1
خط أ ب
مولد G_1
G_2
T_2
T_3
T_4
G_3
G_4
F_1

شكل (١)


ملف فصل
ملف توصيل
نقط التلامس الرئيسية للقاطع
A
E

شكل (٢)

جدول (١)

المعـــدة	الاعطال التى يمكن ان تتعرض لها المعدة	النسبة من الاعطال الكلية
١ - الخطوط الهوائية	١ - العوامل الجوية : صواعق ـ رياح ـ هزات ارضية ـ ثلوج ٢ - الطيور ، الطائرات ، الاشجار ٣ - الجهود الفجائية المرتفعة	٣٠ - ٤٠ ٪
٢ - الكابلات الارضية	١ - حدوث دوائر قصر اثناء عمليات الحفر ٢ - انهيار المادة العازلة نتيجة الاحمال الزائدة او نتيجة ارتفاع درجة الحرارة . ٣ - تعتبر اماكن اللحامات (التوصيلات *Joints*) اضعف جزء بالكابل ولذلك تكون عرضة للانهيار	٨ - ١٠ ٪
٣ - المحولات	١ - انهيار المواد العازلة نتيجة الجهود الزائدة . ٢ - اعطال مغير الجهد (نقط التقسيم) ٣ - اعطال عازلات الاختراق ٤ - تعرض المحول لزيادة حمل او زيادة جهد . ٥ - أن تكون متممات الوقاية غير كافية . ٦ - حدوث عطل بمتممات الوقاية .	١٠ - ١٢ ٪
٤ - المولدات	١ - حدوث عطل بالعضو الثابت او العضو المتحرك ٢ - تعرض المولد لحالات تشغيل غير عادية ٣ - حدوث عطل بالمساعدات مثل عضو الاثارة ـ طلمبة زيت مانع التسرب ـ طلمبة التبريد .. ٤ - حدوث عطل بمتممات الوقاية	٦ - ٨ ٪
٥ - محولات التيار والجهد	١ - ارتفاع الجهد ـ انهيار المادة العازلة ٢ - خطأ بالتوصيلات الثانوية ٣ - فتح فى الوصلات	١٥ - ٢٠ ٪
٦ - معدات الفصل والتوصيل	١ - انهيار المادة العازلة ٢ - عطل بالدوائر الميكانيكية ٣ - تسرب المادة العازلة المستخدمة لاطفاء الشرارة : هواء ـ زيت ـ غاز ٤ - القدرة المقننة غير كافية ٥ - اعمال الصيانة غير كافية	١٠ - ١٢ ٪

شبكة الربط الكهربائية .

وتوجد اسباب عديدة لحدوث الاعطال بالشبكات الكهربائية ، ولكن يمكن تقليل الاعطال بقدر الامكان بتحسين تصميم الشبكات الكهربائية ـ وتحسين كفاءة المعدات ـ ومتممات وقاية كافية وذات كفاءة عالية ـ وتشغيل سليم للشبكة الكهربائية وعدم تعرضها للحالات غير العادية ـ وعمل صيانة دورية ....

يوضح جدول (١) فكرة عن أغلب الاعطال التى يمكن ان تتعرض لها المعدات الكهربائية المختلفة مثل الخطوط الهوائية ـ الكابلات ـ المحولات ـ المولدات .. وكذلك نسبة حدوثها على وجه التقريب .

يمكن تقليل الاعطال بقدر الامكان بأن يأخذ فى الاعتبار تحسين نوعية المعدات الكهربائية من حيث التصميم والتصنيع والاختبارات الكافية ووضع نظم الوقاية الكافية والسليمة وتدريب العاملين لعمليات التشغيل والادارة ـ وتتم عمليات الصيانة والتدريب بمعرفة المختصين .

قاطع التيار : يستعمل قاطع التيار فى وصل التيار او فصله مهما كانت حالة الدائرة الكهربائية ، المركب عليها ويتكون القاطع من نقط تلامس رئيسية ، موجودة بغرفة تحتوى على وسط لاطفاء الشرارة الناتجة اثناء عمليات الفصل والتوصيل ، ونقط تلامس مساعدة *(Auxiliary Switches)* تعتمد حركتها على الحركة الميكانيكية لحركة نقط التلامس الرئيسية ، كذلك يحتوى القاطع على ملفى فصل وتوصيل يتم عن طريقها توصيل او فصل القاطع كهربياً ويوضح شكل (٢) تمثيل لقاطع تيار يحتوى على ملفى فصل وتوصيل ، ولتوصيل القاطع يتم ارسال اشارة موجبة لطرف الملف E (بينما الاشارة السالبة موجودة بصفة دائمة) ، ولفصل القاطع يتم ارسال اشارة موجبة لطرف الملف A. ويوضح شكل (٣) قاطع تيار يتكون من : نقط تلامس رئيسية للثلاثة أوجه ، ونقط تلامس مساعدة ـ بعضها مفتوح والبعض الآخر مقفول ويتغير وضعهم مع تغيير وضع نقط التلامس الرئيسية . ويلاحظ ان نقط التلامس المساعدة تكون موجودة فى كابينة التحكم خارج غرفة إطفاء الشرارة . احياناً يحتوى قاطع التيار على ملفى فصل يكون احدهما احتياطى للآخر .

عموماً يمكن تعريف متمم الوقاية ببساطة بأنه عبارة عن ملف حساس للتغير فى

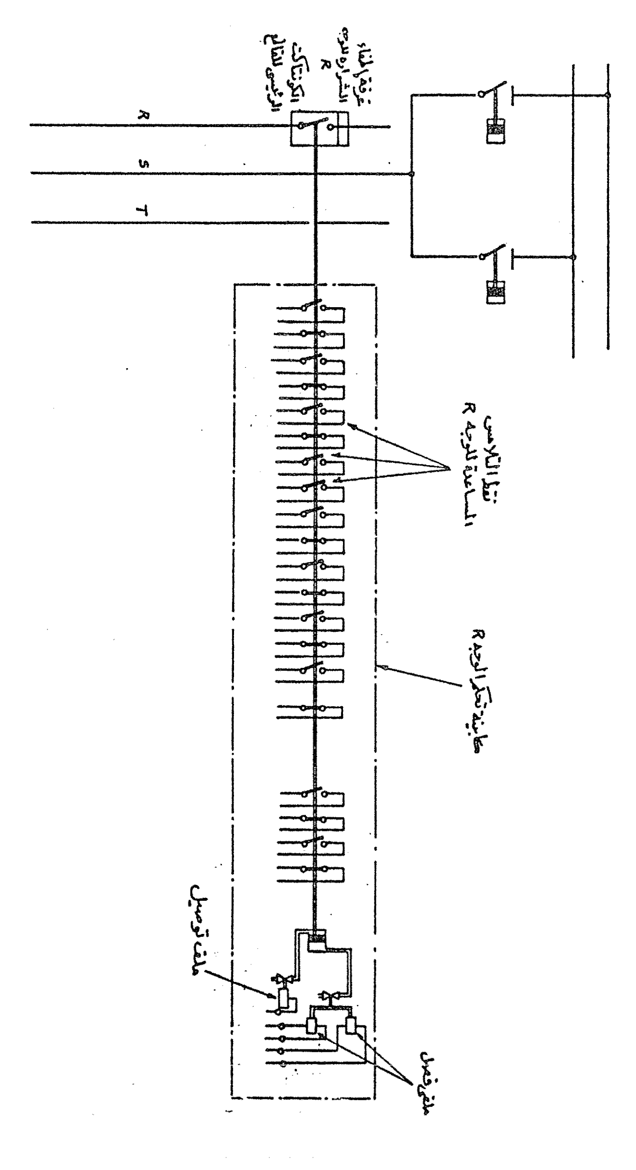
النيار او الجهد ، ومضبوط عند قيمة معينة ، اذا تم تسليط او مرور هذه القيمة بالملف فان هناك طريقة معينة لتوصيل نقطة تلامس (او اكثر) والتى تعطى اشارة لفصل قاطع التيار .

هذه الفكرة لجميع متممات الوقاية اياً كان نوعها والغرض منها وطريقة تشغيلها ولذلك سيتم تمثيل المتمم حالياً بأنه ملف ونقطة تلامس فقط كما فى شكل (٤) .تجهز نقطة التلامس للمتمم بأشارة موجبة بصفة مستمرة . وعند اشتغال المتمم تنقل هذه الاشارة للطرف الآخر لنقطة التلامس .

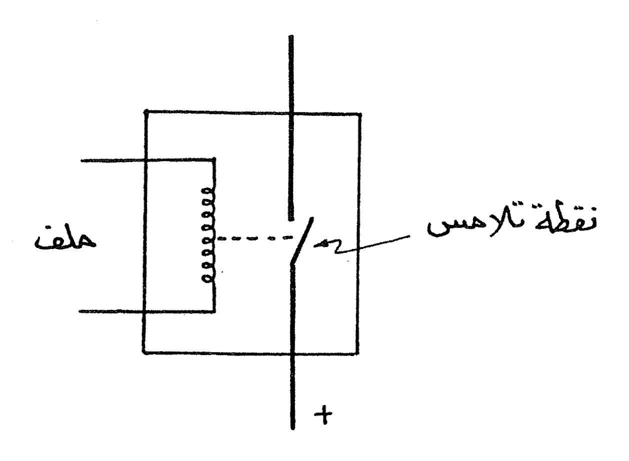
ويوضح شكل (٥) دائرة مبسطة للاتصال بين متمم الوقاية وملف فصل قاطع تيار ، فعند اشتغال متمم الوقاية ، لوجود عطل مثلاً ، فان نقطة التلامس (١ - ٢) تقفل وتؤدى الى نقل الاشارة الموجبة الى طرف ملف فصل القاطع والذى تم تجهيز طرفه الآخر باشارة سالبة وبذلك يعمل الملف على فصل نقط التلامس الرئيسية للقاطع ، اى يمر التيار المستمر *(d.c)* بنقطة تلامس المتمم وملف فصل القاطع . اما بالنسبة للتيار المستمر *(d.c)*، فتحتوى كل محطة على مجموعة بطاريات وشاحن (١١٠ او ٢٢٠ فولت تيار مستمر) يتم عن طريقها تشغيل دوائر التحكم بالمحطة اى توصيل وفصل القواطع والسكاكين العازلة واشتعال متممات الوقاية .. وغالباً تكون جميع ملفات التشغيل للمعدات الكهربائية مجهز احد اطرافها بإشارة سالبة ويتم نقل الاشارة الموجبه للملف حسب الاحتياج . انظر شكل (٥) .

ومن الملاحظ ان نقط تلامس متمم الوقاية ذات سمك ضعيف ورقيق *(Light and delicate)* وبالتالى لاتتحمل تيار ملف فصل قاطع التيار - ولكن رقة سمك نقط التلامس يعطى مميزات لمتمم الوقاية مثل انخفاض الوزن وصغر الحجم بالاضافة الى صغر قدرة استهلاك المتمم *(Consumption)* . بمعنى آخر غالباً ماتكون نقط تلامس متمم الوقاية غير مصممة لكى يمر بها تيار ملف فصل قاطع التيار . ويكون مصدر تغذية ملف قاطع التيار من تيار مستمر ذات جهود مختلفة ٣٠ ، ١١٠ ، ٢٢٠ فولت او ١١٠ ، ٢٢٠ فولت تيار متردد كما تكون قدرة قاطع التيار حوالى ٧,٥ وات للقواطع الصغيرة من النوع الزيتى ، وحوالى ٢٥ وات لقواطع التيار الكبيرة من نفس النوع .

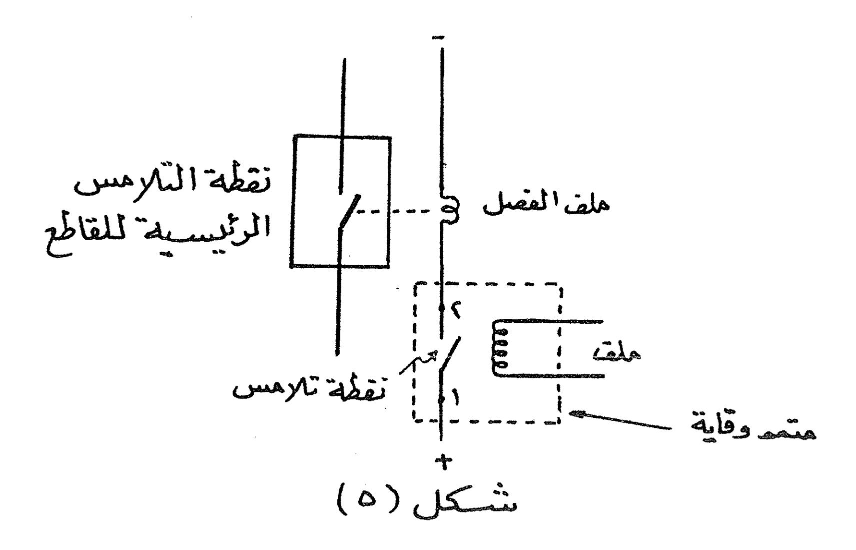
وللتغلب على عدم استخدام نقط تلامس متممات الوقاية لدوائر فصل قاطع التيار



شكل (٣)


ملف
نقطة تلامس
+

شكل (٤)


-
نقطة التلامس
الرئيسية للقاطع
ملف الفصل
٢
ملف
نقطة تلامس
١
متمم وقاية
+

شكل (٥)

يستخدم بدلاً منها نقط التلامس المساعدة للقاطع نفسه باحدى الطريقتين الآتيتين :-

١ - تستخدم الدائرة الكهربية الموضحة بشكل (٦) ، حيث يتم توصيل ملف متمم مساعد (وهو عبارة عن ملف ومجموعة نقط تلامس لها قوة تحمل اكثر من نقط تلامس متمم الوقاية) *(Auxiliary Relay)* على التوالى مع كل من : كونتاكت (نقطة تلامس) متمم الوقاية ، كونتاكت من مساعدات قاطع التيار ، وملف فصل القاطع ، بالاضافة الى توصيل كونتاكت من المتمم المساعد (١-٢) على التوازى مع كونتاكت تلامس متمم الوقاية .

عند حدوث قصر ، يشتغل متمم الوقاية فتقفل نقط التلامس له وتنتقل الاشارة الموجبة الى ملف المتمم المساعد ، وتكون الاشارة السالبة على طرف ملف فصل القاطع ، وبذلك يشتغل المتمم المساعد وتقفل نقط التلامس (١-٢) الخاصة به ويصبح تيار فصل القاطع مقسماً بين نقط تلامس متمم الوقاية ونقط التلامس (١-٢) عندئذ يعمل ملف فصل القاطع على فتح قاطع التيار وعزل الجزء العاطل .

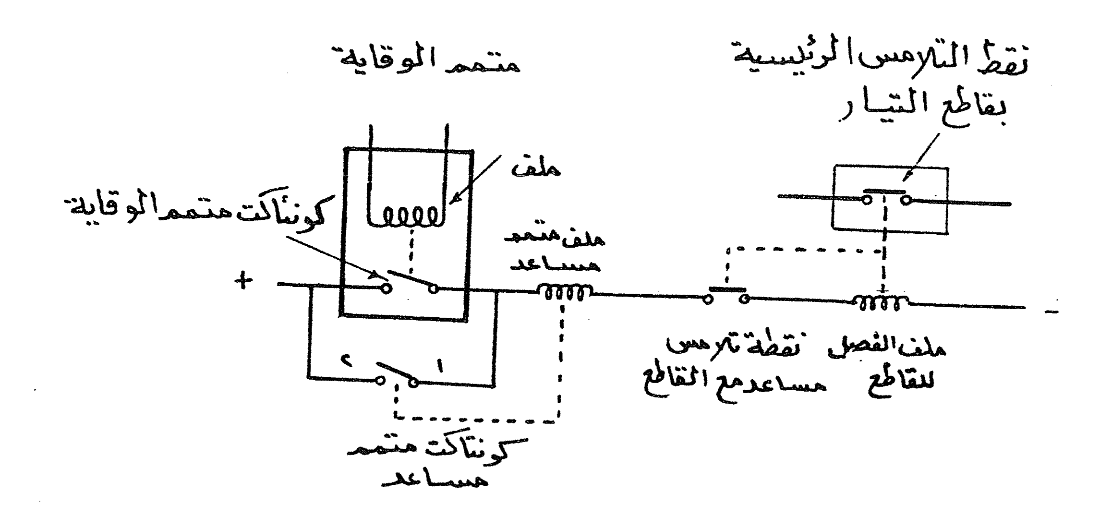
وعندئذ يزول السبب فى اشتغال متمم الوقاية وبالتالى تفتح نقط التلامس الخاصه به ولكن يظل تيار الفصل مستمراً (لوجود الجهد المستمر) لعدة دورات ، وهى زمن فصل القاطع ، ثم تفتح نقط التلامس (١-٢) وتقطع التيار المستمر عن ملف فصل قاطع التيار.

٢ - يمكن ايضاً استخدام الدائرة الكهربائية الموضحة بشكل (٧) والتى تعمل تقريباً بنفس الفكرة السابقة ، فعند حدوث قصر يعمل متمم الوقاية وتقفل نقط التلامس الخاصة به ويمر تيار مستمر *(d.c)* خلال نقط التلامس المساعدة مع القاطع وملف فصل القاطع ، عندئذ يفتح قاطع التيار . وفى نفس الوقت يشتغل ملف المتمم المساعد ويقفل نقط التلامس الخاصة به ، والمتصله على التوازى مع نقط تلامس متمم الوقاية ، وبالتالى يعمل على حمايته من التيار الكبير .

هناك بعض الاصطلاحات الهامة المستخدمة فى نظم الوقاية يجب التعرف عليها من هذه الاصطلاحات او التعبيرات الهامة ما يعرف بالمنطقة المحمية ـ الوقاية الاساسية ـ الوقاية اللاحقة وفيما يلى توضح لكل منهم :

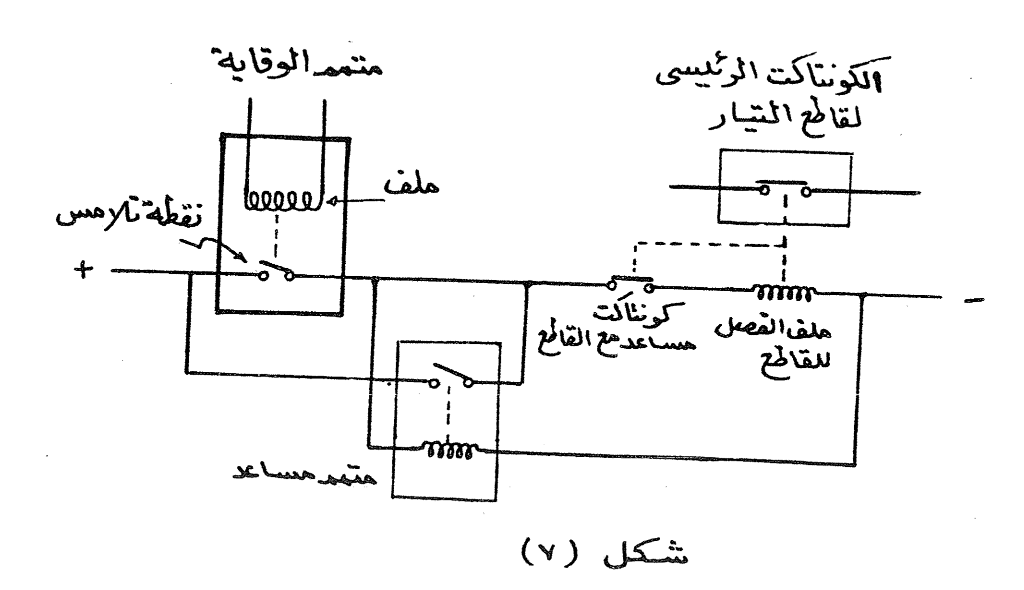
المنطقة المحمية *Protective Zone*

عند تصميم شبكة كهربائية معينة ، او جزء منها ، فيجب ان يخطط لنظام وقاية



متمم الوقاية
نقط التلامس الرئيسية
بقاطع التيار
ملف
كونتاكت متمم الوقاية
ملف متمم
مساعد
+
-
ملف الفصل
للقاطع
نقطة تلامس
مساعد مع القاطع
كونتاكت متمم
مساعد

شكل (٦)



متمم الوقاية
الكونتاكت الرئيسى
لقاطع التيار
ملف
نقطة تلامس
+
-
كونتاكت
مساعد مع القاطع
ملف الفصل
للقاطع
متمم مساعد

شكل (٧)

متكامل من حيث :

- اختيار مواضع قواطع التيار ، فمثلاً تركيب قاطع لكل وحدة يراد فصلها لعمليات التشغيل والصيانة المرغوبه بالاضافة الى فصلها خلال حالات القصر .

- انواع متممات الوقاية لكل معدة فى الشبكة .

ثم يتم تقسيم الشبكة الى مناطق محمية اعتماداً على قدرة الآلة او المعدة ومكانها ، واهميتها ، واحتمال تعرضها لحالات القصر او التشغيل غير العادى ...

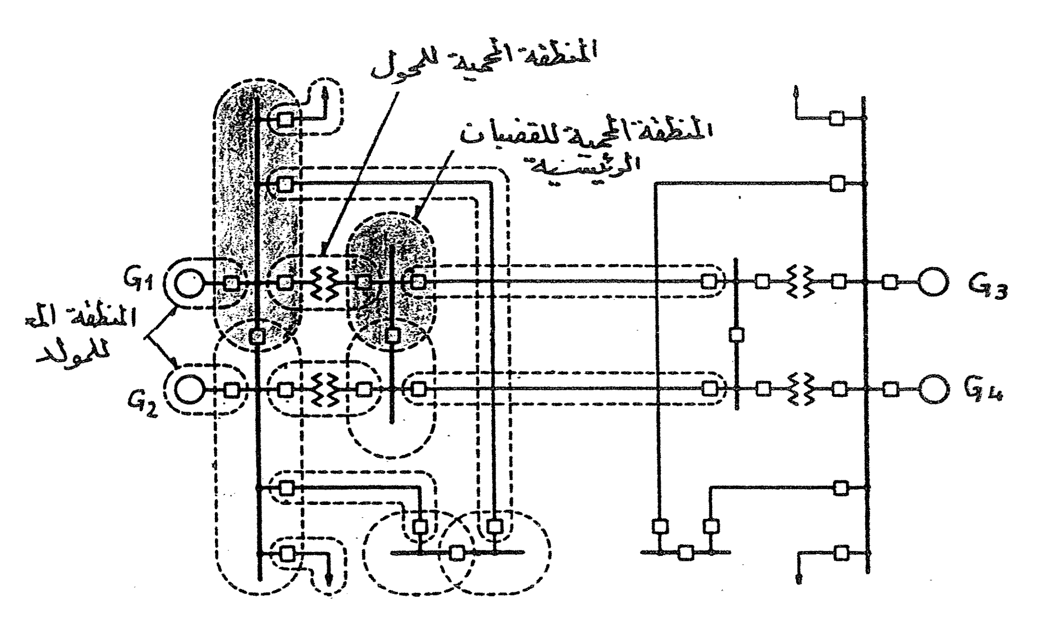
فإذا أخذنا شكل (١) وتم تقسيمة الى مناطق محمية يصبح كما فى شكل (٨) حيث تعتبر المنطقة من المولد رقم ١ الى القاطع الخاص به هى المنطقة المحمية للمولد رقم ١ بينما تعتبر المنطقة من القاطع رقم ٤ الى القاطع رقم ٥ بالمنطقة المحمية للخط أ ب . كذلك المنطقة من القاطع رقم ٢ الى القاطع رقم ٣ تعرف بالمنطقة المحمية للمحول رقم ٢ ....

وعلى ذلك يعرف الجزء من الشبكة الكهربائية (مولد - خط - محول ...) المحمى بنظام وقاية معين بالمنطقة المحمية *(Protective Zone)* ، واذا كانت الشبكة الكهربائية متداخله فان بعض الاجزاء تكون محمية بأكثر من منطقة محمية . وعند تصميم الشبكة الكهربائية يجب مراعاة الايترك اى جزء منها بدون وقاية كما أن الاجزاء المحمية بأكثر من منطقة تعرف بالمنطقة المتداخله *(Overlap)* ، ويوضح الجزء المظلل بشكل (٨) معنى المنطقة المتداخلة . فمثلاً القاطع رقم ١ مشترك مع المنطقة المحمية للمولد رقم ١ والمنطقة المحمية للقضبان الرئيسية .... .

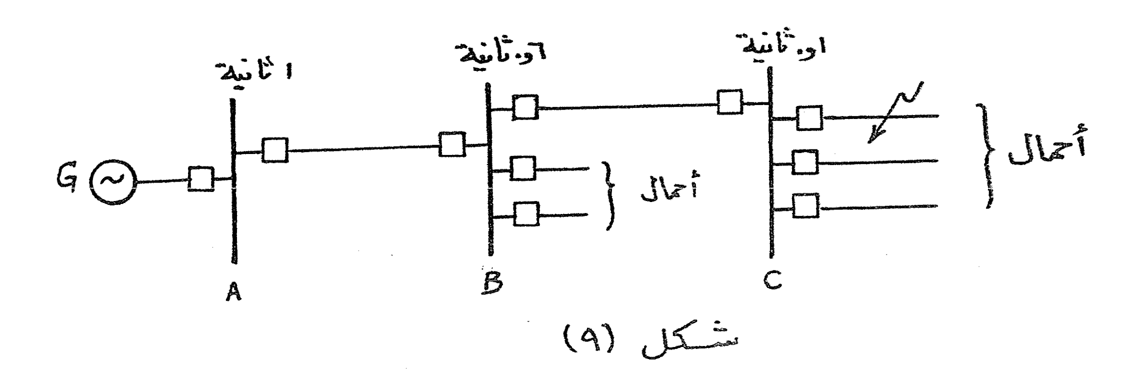
الجدير بالذكر ان حدود المنطقة المحمية تحدد بموضع محول التيار او بموضع قاطع التيار وتكون متممات الوقاية ، المركبة على منطقة محمية معينة ، مسئولة عن اعطال هذه المنطقة فقط ، ولاتكون مسئولة عن اعطال المناطق المجاورة .

الوقاية الاساسية والوقاية اللاحقة *Primary and Back-up Protection*

الوقاية الاساسية هى الوقاية الرئيسية المسئولة عن المعدة او الآلة . وتضاف وقاية احتياطية لمراعاة الدقة وتسمى بالوقاية اللاحقة وتعتبر كخط دفاع ثانى للمعدة ، بمعنى انه اذا حدث عطل بنظام الوقاية الاساسية فان الوقاية اللاحقة تعمل على عزل المعدة العاطلة عن الشبكة الكهربائية فاذا كانت المعدة لاتحتوى على وقاية لاحقة وحدث قصر


المنطقة المحمية للمحول
المنطقة المحمية للقضبان الرئيسية
المنطقة المحمية للمولد
G1
G2
G3
G4

شكل (٨)


١ ثانية
٠,٦ ثانية
٠,١ ثانية
G
أحمال
أحمال
A
B
C

شكل (٩)

وتصادف أن تعطل نظام الوقاية الاساسية ، سواء فى دوائر الفصل او فى المتممات او .... ، فيمكن حدوث انهيار بأماكن متعددة نتيجة لعدم عزل العطل الحادث .

ويمتاز وجود وقاية اساسية ومعها وقاية لاحقة بأنه اثناء عمل صيانة دورية على مكونات الوقاية الاساسية فان الوقاية اللاحقة تقوم بنفس الغرض وتقى المعدة عند حدوث اى قصر فى تلك الاثناء .

اما عن ترتيب الاشتغال فان الوقاية الاساسية تعمل اولاً ثم الوقاية اللاحقة .

وتبعاً لنظريات الاقتصاد فان الوقاية الاساسية تقى المعدة فى جميع حالات القصر او التشغيل غير العادى ، بينما الوقاية اللاحقة تقى المعدة فى حالات القصر فقط .

وتصنف الوقاية اللاحقة كالآتى :

١ - متمم وقاية لاحقة *Relay Back-up*

فى هذه الحالة يوجد قاطع تيار واحد يحتوى على ملف او ملفين للفصل ، وعلى ذلك فان الوقاية الاساسية او الوقاية اللاحقة تعمل على فصل قاطع رئيسى واحد .

٢ - قاطع احتياطى *Break Back-up*

فى هذه الحالة يوجد قاطعتين فى نفس المحطة احدهما يفصل بواسطة الوقاية الاساسية والاخريفصل مع الوقاية اللاحقة .

٣ - وقاية لاحقة عن بعد *Remote Back-up*

تكون الوقاية الاساسية والوقاية اللاحقة فى محطتين مختلفتين ولاتعتمد احدهما على الاخرى

٤ - وقاية لاحقة مركزية مرتبطة *Centrally co-ordinated Back-up*

يكون التحكم المركزى مرتبط بتحكم مركزى لاحق - ويراقب التحكم المركزى ، بصفة مستمرة ، التيار المتدفق فى النظام . وعند حدوث قصر او انهيار بأية معدة من مكونات النظام ، يتأثر تدفق التيار بالنظام وعن طريق برنامج مخزون فى الحاسب الآلى يتم تحديد قاطع التيار الذى يجب ان يفصل بالاضافة الى تحديد قيمة تيار القصر ، وهل تأثر استقرار النظام ؟... وتكون كل من الوقاية الاساسية والوقاية اللاحقة مرتبطة بمركز التحكم .

٥ - الوقاية اللاحقة عن طريق تدرج الزمن

Back-up Protection By Time Grading Principle

بعد حساب او معرفة تيار القصر فى الشبكة المراد وضع وقاية لاحقة لها ، فى الاماكن A,B,C على سبيل المثال كما فى شكل (٩) ، فانه يتم تدريج الزمن بحيث يعزل القاطع الاقرب لمكان القصر اولاً ، واعتباره الوقاية الاساسية ، بينما تعتبر وقاية باقى القواطع كوقاية لاحقة للقاطع الاول . فلو أخذنا تدريج الزمن مثلاً ١,٠ ثانيه عند المحطة C ويكون ٠,٦ ثانية عند المحطة B بينما ١ ثانية عند المحطة A وفى حالة حدوث قصر عند احد مخارج المحطة C فانه على الرغم من مرور التيار من مصدر التغذية الى مكان القصر خلال المحطات A,B ، فان القاطع فى المحطة C يفصل اولاً لصغر زمن الوقاية المركبة عليه ، واذا فشل القاطع عند المحطة C لاى سبب فان القاطع عند المحطة B يفصل ويعتبر كوقاية لاحقة .

٦ - الوقاية اللاحقة عن طريق الازدواج

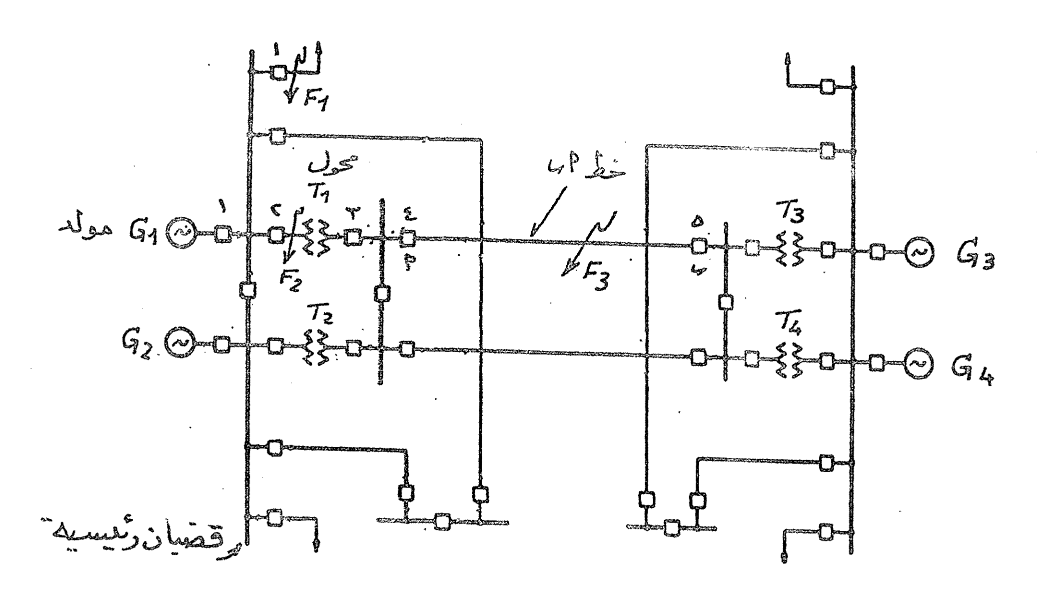
Back-up Protection By Dublication Principle

يتم تركيب متممات وقاية وقواطع تيار و ... مزدوجة . وتكون الوقاية الاساسية والوقاية اللاحقة فى نفس المحطة وتعمل فى نفس الوقت ولها تأخير زمنى متساوى وتكلفة هذا النظام كبيرة جداً ، واحياناً يستغنى عن تركيب قاطعين للتيار بقاطع تيار واحد يحتوى على ملفين فصل مستقلين على ان يستخدم ملف فصل لكل نوع من الوقاية (الاساسية واللاحقة) .

الخصائص الهامة لمتممات الوقاية

١) الانتقائية والتمييز *Selectivity and Descrimination*

تعنى الانتقائية : ان متممات الوقاية يجب ان تختار الجزء العاطل من الشبكة الكهربائية وتعزله عن باقى الشبكة ، بسرعة قدر الامكان . حتى لايسبب مخاطر ومشكلات نتيجة العطل . بينما يعنى التمييز : ان تميز المتممات بين حالات التشغيل العادية والحالات غير العادية فى المنطقة المحمية الخاصة بها ، وليس فى الاجزاء الاخرى بالشبكة .



شكل (١٠)

وعلى ذلك يجب ألا تعمل متممات الوقاية للاعطال او حالات التشغيل غير العادية خارج نطاق المنطقة المحمية المركبة عليها .

يوضح شكل (١٠) جزء من شبكة كهربائية مكونة من مولدات ومحولات وخطوط وعند حدوث قصر على محول مثلاً فيجب ان تعزل متممات الوقاية الخاصة به قاطعى التيار المركبين على جانبيه فقط ويجب الا تعزل باقى مكونات الشبكة ، واليك بعض الامثلة :

- عند حدوث قصر عند الموضع *F1* يجب ان يفصل القاطع رقم ١
- عند حدوث قصر عند الموضع *F2* يجب ان يفصل القاطعان ارقام ٢ ، ٣
- عند حدوث قصر عند الموضع *F3* يجب ان يفصل القاطعان ٤ ، ٥ وهكذا .

ومما سبق يتضح انه اذا لم تتصف متممات الوقاية بالتمييز والانتقائية فانه عند حدوث قصر فى موضع ما بالشبكة الكهربائية . وخارج المنطقة المحمية ، فسوف تعزل اجزاء كثيرة من الشبكة بدون داعى مسببة ارباك واعاقة للمستهلكين ، وحدوث عدم اتزان بها .

٢) **زمن المتمم - زمن عزل العطل** *Relay Time , Fault Clearing Time*

زمن عزل العطل هو الزمن الذى يبدأ من لحظة حدوث القصر وحتى لحظة فتح قاطع التيار ، وهو يساوى مجموع زمن المتمم والزمن الذى يستغرقه قاطع التيار للفتح اى ان :

زمن عزل العطل	=	زمن المتمم	+	زمن قاطع التيار
		من لحظة العطل الى لحظة قفل نقط تلامس المتمم		من لحظة قفل نقط تلامس المتمم الى لحظة آخر اخماد للشرارة بالقاطع

بمعنى آخر زمن المتمم هو الزمن من لحظة اشتغال المتمم وحتى قفل نقط التلامس الخاصة به ، بينما زمن قاطع التيار هو مجموع الازمنة المأخوذة لعمل الحركة الميكانيكية لفتح نقط التلامس الرئيسية لقاطع التيار بالاضافة الى زمن اخماد القوس الكهربى (يسمى هذا الزمن احياناً بالزمن الكلى للقاطع *Total Break Time*) .

ويجب معرفة زمن عزل العطل للاسباب الآتية :

أ - سرعة عزل العطل تقلل المخاطر بقدر الامكان . فمثلاً عند أجراء اختبار دائرة القصر على قضبان رئيسية بقيمة تيار قصر ٦٠ ك.أ (جذر متوسط المربعات *rms*)

لمدة ٠,٠٧ ثانية وبالرغم من قيمة التيار الكبيرة جداً الا انها لاتسبب اى مخاطر او انهيارات . بينما اذا تم الاختبار عند نفس القيمة ولكن لزمن ٧ ثانية مثلاً فان القضبان تنهار تماماً .

ب - سرعة عزل العطل تساعد على تحسين استقرار الشبكة الكهربائية ، *(Stability)* ويؤخذ هذا فى الاعتبار عند وضع نظم الوقاية لخطوط الجهد العالى - المولدات الكبيرة - المحولات الكبيرة - المحركات ...

وعلى الرغم من اهمية عزل العطل بسرعة ، الا ان التأخير الزمنى *(Time Lag)* يكون مطلوب فى اغلب متممات الوقاية . للأسباب الآتية :

أ - لاعطاء فرصة للتميز بين الوقاية الاساسية والوقاية اللاحقة (الاحتياطية) .

ب - للتغلب على التشغيل الخاطئ للمتممات فى الحالات الآتية :

- التيارات الكبيرة الناتجة من بداية تشغيل المعدات (*Starting Current*)
- التيارات الناتجة من الحالات العابرة والطارئة *(Transient)*
- التغير فى الاحمال *(Load Fluctuations)*

وفيما يلى أمثلة لبعض الأزمنة :-

- فى المتممات السريعة يكون زمن التشغيل صغير جداً فى حدود اعداد قليلة من المللى ثانية(٥٠ هرتز تكافئ ٢٠ مللى ثانية)
- فى المتممات الحديثة الاستاتيكية امكن الوصول الى زمن من ٠,٥ الى ١ دورة (١٠ - ٢٠ مللى ثانية)
- المتممات التى لها خاصية الزمن العكسى
- زمن قاطع التيار العادى يكون حوالى ٥ دورات (اى ١٠٠ مللى ثانية)
- زمن قاطع التيار من النوع السريع يكون حوالى من ٢ الى ٣ دورات (من ٤٠ الى ٦٠ مللى ثانية)

٣) الحساسية *Sensitivity*

وتعنى قيمة اقل كمية كهربائية حقيقية يبدأ عندها اشتعال المتمم ، فمثلاً المتممات

التى تعمل بتيار القصر فان الحساسية تعنى اقل تيار قصر يمر بالمنطقة المحمية ويعمل على تشغيل المتمم .

عند حدوث قصر على الخط أ ب كما فى شكل (١٠) فان متممات الوقاية يجب ان تكون ذات حساسية لاقل قيمة تيار قصر يمر نتيجة حدوث قصر عند النقطة $F3$.

تعتمد قيمة اقل تيار قصر لشبكة كهربائية على الافتراضات التالية :

- حدوث قصر عند نهاية الخط .
- وجود مولد واحد فقط .
- ان تكون مقاومة القوس الكهربى الحادث وقت القصر كبير ...

ويفضل ان تحدد الافتراضات حسب طبيعة الشبكة موضوع الدراسة . وعلى ذلك يجب ان تكون لمتممات الوقاية حساسية كافية للعمل تحت هذه الظروف .

وتعرف حساسية متمم الوقاية باستخدام عامل الحساسية K_s كالآتى :

$$K_s = \frac{I_{s.c\,(min)}}{I_o}$$

حيث

$I_{s.c\,(min)}$ = قيمة أقل تيار قصر يمر بالمنطقة المحمية

I_o = قيمة اقل تيار يعمل على تشغيل متممات الوقاية

ويجب مراعاة الا يكون تيار تشغيل متممات الوقاية صغيراً نسبياً للاسباب الآتية :

- الا تعمل متممات الوقاية عند قيمة تيارات اقصى تحميل مسموح للمعدات .
- الا تعمل متممات الوقاية نتيجة قصر فى مواضع خارج المنطقة المحمية الخاصة بها .

وعند اختيار حساسية متممات الوقاية نتبع الآتى :

- قيمة اقل تيار قصر بالمنطقة المحمية .
- قيم تيارات التشغيل المطلوبة للوقاية الرئيسية والوقاية اللاحقة .

٤) الاستقرار *Stability*

وتعنى خاصية الاستقرار ان يظل نظام الوقاية مستقراً ولاتعمل متممات الوقاية عند حدوث قصر خارج المنطقة المحمية او عند حدوث حالات فجائية ..

فمثلاً عند حدوث قصر على كابل مغذى من محول ، اى خارج المنطقة المحمية للمحول فيجب الا تعمل متممات الوقاية للمحول ويستمر المحول فى تغذية باقى المغذيات .

احياناً يتم تطوير متممات الوقاية للوصول الى حالة الاستقرار وعلى سبيل المثال اجهزة الوقاية التفاضليـــة ، المركبة كوقاية اساسية على المحولات ، تم تطويرها واضيف لها عنصر لضمان عدم اشتغالهـــا عند مـــرور تيــــارات تشغيـــل اندفاعيـــة *(Inrush Current)* .

٥) العـــول *Reliability*

يعنى العول :

- عدم فشل متممات الوقاية فى عزل القصر الحادث فى المنطقة المحمية
- عدم حدوث اعطال بمكونات نظام الوقاية
- ان تعمل متممات الوقاية عند الاحتياج فقط

يعرف عول نظام الوقاية من البيانات الاحصائية المجمعة لشبكة معينة ، ولايمكن تحديدها مثلاً ، عن طريق معادلات رياضية ، ولكن عن طريق تسجيل احصائى لتاريخ نظام الوقاية ، المراد معرفة عوله ، ومنه يمكن الوصول الى فكرة حول عول هذا النظام ومن المتعارف عليه ان نظام الوقاية عبارة عن عمل جماعى لمكونات متعددة ، فاذا حدث عطل او انهيار لاحد المكونات فان النظام ككل يتأثر وبالتالى فان عول النظام يتأثر ، اى انه يجب الوثوق بكل مكون فى النظام مثل : محولات التيار والجهد ــ والمتممات المساعدة ــ ومتممات الوقاية ــ والدوائر الثانوية للتوصيلات بين المكونات ــ ودوائر الفصل ــ ودوائر البطاريات ... كذلك يجب الاعتناء بعمليات الصيانة وذلك للوصول لعول ذى درجة عالية لنظام الوقاية .

٦ - الملائمة *Adequateness*

اذا كان المتمم مصمماً بحيث يلائم العمل عند جميع احتمالات الاعطال فان التكلفة تكون عالية . ولذا يكفى ان يكون متمم الوقاية مصمماً بحيث يلائم العمل الموضوع من أجله ويمكن ترشيد الملائمة للمتممات ببعض هذه العوامل :

- قدرة المعدة التى سيركب لها المتمم .
- مكان المعدة المحمية .
- احتمالات التعرض لحالات غير عادية نتيجة أسباب داخلية او خارجية .
- تكاليف المعدة وأهميتها .
- تاثير انهيار المعدة على استمرارية التغذية الكهربائية .

يجب مراعاة الملائمة عند اختيار نظام الوقاية لشبكة معينة وذلك يعتمد على كفاءة التخطيط ، فمثلاً معدات الجهود المنخفضة : محولات ـ محركات ... يجب الا يخطط لاستخدام نظم وقاية ذات تكلفة عالية جداً ومعقدة .فعند اختيار الوقاية اللازمة لمحول توزيع له قدره ٥٠٠ ك.ف.أ يكفى استخدام مصهرات ذات سعة قطع عالية كوقاية ، وكذلك للمحركات ذات قدرات اقل من ١٢٠ حصان يكفى استخدام متممات وقاية ضد زيادة الحمل الحرارى بالاضافة الى مصهرات ذات سعة قطع عالية .. ،هذه الحالات لاتحتاج الى تركيب محولات تيار ـ محولات جهد ـ قواطع تيار .. اى انه يجب اختيار نظام الوقاية الملائم لكل معدة فى الشبكة الكهربائية .

٧ - الاقتصاد *Economics*

تعنى الحصول على أقصى وقاية وبأقل التكاليف .

البـــاب الاول

١-١ مصادر تغذية متممات الوقاية *Relay Input Sources*

المتمم ببساطة عبارة عن مجموعة عناصر او وحدات يعتمد تشغيل كل عنصر على الآخر ، وفى النهاية ايا كانت المكونات فانه يمكن القول بأن المتمم عبارة عن ملف او اكثر مرتبط بطريقة معينة بنقط تلامس . ويمكن ان تكون طريقة الارتباط هذه عبارة عن مجال مغناطيسى ويطلق على المتمم فى هذه الحالة انه كهرومغناطيسى . او يكون الارتباط عن طريق دوائر استاتيكية ويطلق على المتمم فى هذه الحالة انه استاتيكى ، وايا كان نوع المتمم فانه عند تسليط كمية (و كميات) كهربائية معينة على الملف (او الملفات) فان نقط التلامس تقفل ، بينما عند فصل او نقص هذه الكمية الى قيمة معينة فان نقط التلامس تفتح .

فى شكل (١-١) تم تمثيل متمم يحتوى على ملف ونقطة تلامس ، ويعنى الخط المتقطع بين الملف ونقطة التلامس وجود ربط معين بين الملف ونقطة التلامس .

الكميات الكهربائية

الكمية الكهربائية عبارة عن قيمة معينة من التيار او الجهد او الاثنين معاً تؤخذ من الملف الثانوى لمحول التيار او محول الجهد او الاثنين معاً المركبين على المعدة الكهربائية المزمع تركيب متمم الوقاية لها . وبذلك يقيس المتمم الكمية وتقارن بقيمة معينة مضبوطة على المتمم فاذا تساوت القيمة المقاسة او كانت اكبر من القيمة المضبوطة فان المتمم يعمل على قفل الكونتاكت الخاص به ، بينما عند انخفاض القيمة المقاسة لقيمة معينة اقل من القيمة المضبوطة فان نقطة التلامس (الكونتاكت) تفتح . يمكن ان تكون الكمية الكهربائية قيمة بدون متجه ـ او قيمة لها متجه ـ او حاصل ضرب كميتين ـ او خارج قسمة كميتين ـ او طرح كميتين ،اوجمع كميتين ويعتمد هذا على نوع وخاصية المتمم والغرض الموضوع من أجله .

وعلى ذلك يمكن ان يكون مصدر تغذية ملف (او ملفات) المتمم : التيار او الجهد او التيار والجهد معاً . بالرجوع الى شكل (١-١) نجد ان المتمم يحتاج ايضاً الى مصدر تغذية مساعد عبارة عن طرف القطب الموجب *(d.c)* لنقله الى ملف فصل القاطع فى حالة اشتغال نظام الوقاية ، وذلك اذا كان ملف قاطع التيار يعمل بتيار مستمر . بينما

اذا كان ملف قاطع التيار يعمل بجهد متردد (*a.c*) ، فان التغذية المساعدة تكون طرف جهد متردد (*a.c*) ينقل الى ملف فصل قاطع التيار . بمعنى آخر فان مخرج محولى التيار والجهد يمثلان حالة الشبكة الكهربائية المركبان عليها ، بينما الجهد المستمر او المتردد يعتبر تغذية مساعدة للمتمم . كما سيتضح فيما بعد .

وفى هذا الباب سيتم التعرض لما يحتاجه متمم الوقاية من مصادر تغذية وهى :

محولات القياس (التيار والجهد) ـ التيار المستمر (*d.c*) ـ التيار المتردد (*a.c*).

١ - محولات القياس *Instrument Transformers*

ان الغرض الاساسى من استخدام محولات القياس هو تقليل قيمة التيار المار بالنظام وكذلك خفض قيمة جهد النظام من قيمة عالية جداً الى قيمة منخفضة جداً لاستخدامها لتغذية أجهزة الوقاية والقياس ، بالاضافة الى حماية الاشخاص والمعدات من الجهود العالية ولهذا تعتبر محولات القياس كعزل بين الجهد العالى للنظام وبين أجهزة الوقاية والقياس .

٢ - محولات التيار *Current Transformers*

يتكون محول التيار من دائرة مغناطيسية مقفلة مصنوعة من رقائق من الحديد السيليكونى (لتقليل مفقودات الحديد) ومن ملفين معزولين عن بعضهما وعن القلب الحديدى وهما :

– ملف ابتدائى *Primary Winding* ويحتوى على عدد قليل من اللفات ويتم توصيله على التوالى مع الكابل او الخط المراد قياس قيمة التيار المار به .

– ملف ثانوى *Secondary Winding* ويحتوى على عدد كبير من اللفات ويتم توصيله على التوالى مع ملف التيار لجهاز الوقاية او القياس .

وللقلب الحديدى اشكال مختلفة منها:

– قلب حديدى على شكل مستطيل او مربع ويستخدم لمحولات التيار الصغيرة والمتوسطة . حيث يتم لف الملف الثانوى اولاً على الساق ثم الملف الابتدائى .

– قلب حديدى على شكل حلقة ، ويستخدم لمحولات التيار المختلفة ، وفيه يلف الملف الثانوى بانتظام حول القلب ، اما الملف الابتدائى فهو الكابل (او الموصل) الحامل للتيار

(والذى يتم ادخاله من خلال الحلقة) .

مقننات محولات التيار

أ - التيار الابتدائى المقنن *Rated Primary Current*

هو قيمة التيار المار فى الملف الابتدائى بالأمبير ويرمز له بالرمز I_1 او I_p .

ب - التيار الثانوى المقنن *Rated Secondary Current*

هو قيمة التيار المار فى الملف الثانوى بالامبير نتيجة مرور التيار الابتدائى المقنن ويرمز له بالرمز I_2 او I_s (القيم القياسية ٥ أو ١ أمبير)

جـ - نسبة التحويل *Turns Ratio*

هو النسبة بين $\frac{I_1}{I_2}$ او $\frac{I_p}{I_s}$ (او النسبة العكسية لعدد اللفات $\frac{N_s}{N_p}$)

(مثلاً ٣٠٠/٥ ، ٦٠٠/١)

ء - عبء المحول *Burden*

هى القيمة المكافئة لمقاومة ملفات أجهزة الوقاية او القياس الموصلة على الملف الثانوى لمحول التيار بوحدات أوم او ڤولت أمبير وتكون عادة القيم القياسية لعبئ محول التيار هى : ٢,٥ ، ٥ ، ٧,٥ ، ١٠ ، ١٥ ، ٣٠ ڤولت أمبير وفيما يلى بعض الامثلة :

قدرة ملف اميرومتر يحتوى على مسجل = ٣ ڤولت امبير

قدرة ملفات التيار لأجهزة القياس كما فى كيلووات ساعة ، كيلوفار ، معامل القدرة = ٥ ڤولت أمبير

لايجاد قدرة اسلاك النحاس المستخدمة للتوصيلات تستخدم العلاقة الاتية:-

$$R_{CT} I^2 = \frac{0.018\, l\, I^2}{a}$$

حيث :

l = طول السلك (متر)

I = التيار الثانوى المقنن(أمبير)

a =مقطع السلك(مم٢)

او باستخدام النوموجرام بشكل (٢-١) الذى يوضح العلاقة بين القدرة (فولت امبير)، مقطع السلك (مم٢) ، طول السلك المفرد (متر) فى حالة ما إذا كان التيار الثانوى المقنن يساوى ١ أمبير أو ٥ أمبير . وذلك باستخدام محول تيار واحد فقط ، اما فى حالة استخدام محولين للتيار او ثلاثة محولات تيار وبسلك رجوع مشترك ، فان مقطع السلك يضرب فى ٠,٩٥ او ٠,٥٥ على التوالى .

مثال : محول تيار له نسبة تحويل ٢٠٠ / ٥ ، والعبء يساوى ٣٠ ڤولت أمبير - وصل الملف الثانوى على ملفات اجهزة قياس قدرتها ٥ ڤولت أمبير . وطول السلك ٥٠ متر .

الحل :القدرة التى يتم على اساسها تحديد مقطع السلك هى فرق عبء محول التيار وقدرة الاجهزة اى ٣٠ - ٥ = ٢٥ ڤولت أمبير .

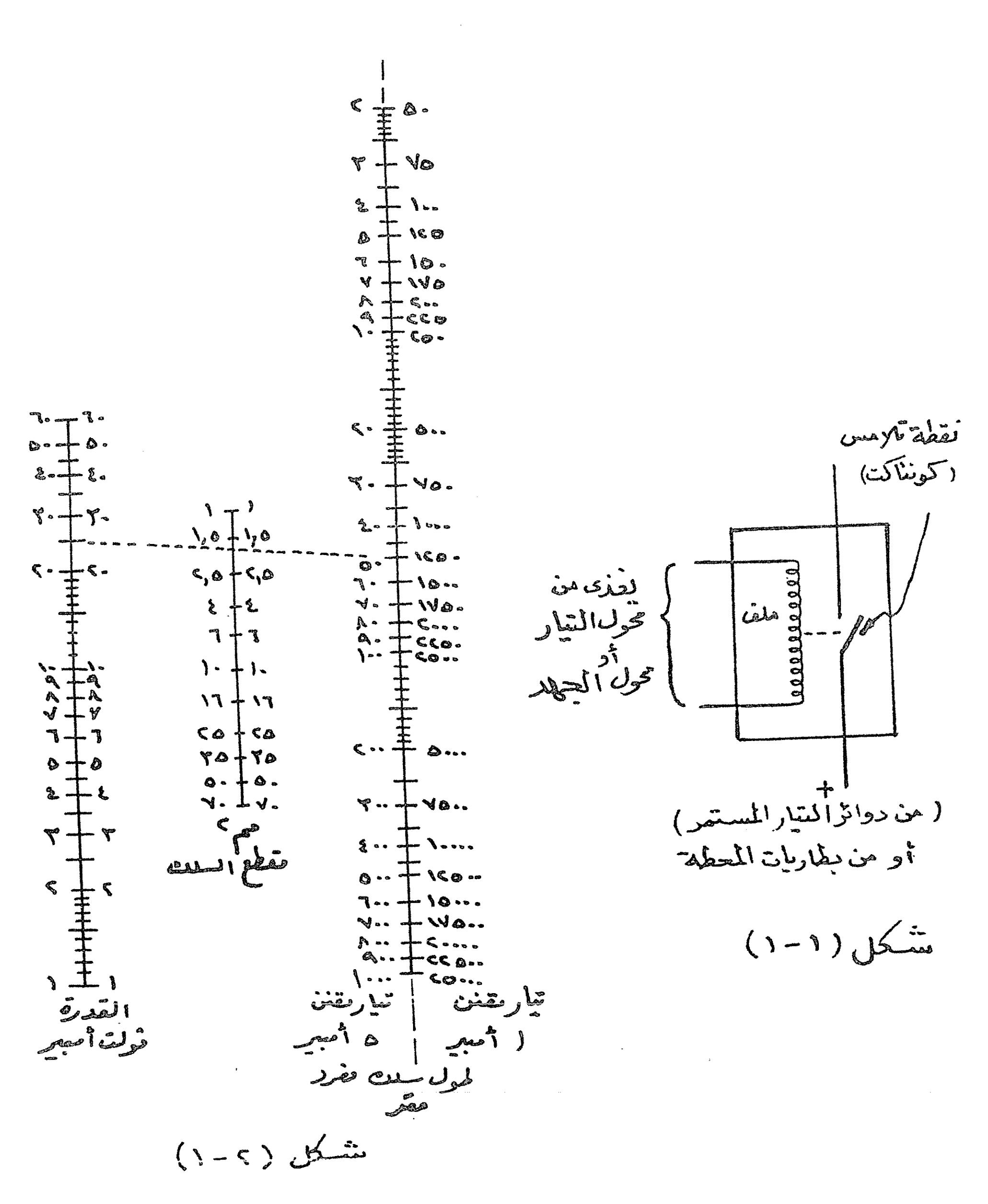
يتم توصيل خط بين القدرة ٢٥ ڤولت أمبير والطول ٥٠ متر فنحصل على مقطع السلك ١,٨ مم٢ ، كما فى شكل (٢-١)،ونختار مقطع القياس الاكبر وهو ٢,٥ مم٢ واللازم لمحول تيار واحد . اما فى حالة استخدام محولين للتيار بسلك رجوع مشترك يضرب مقدار مقطع السلك فى ٠,٩٥ . بينما اذا استخدمنا . ثلاثة محولات تيار بسلك رجوع مشترك يضرب مقدار مقطع السلك فى ٠,٥٥ لنحصل على مقطع اسلاك التوصيل اللازمة .

و - عامل زيادة الحمل المقنن (عامل الامان او عامل التشبع)

The rated overload factor (or safty factor or saturation index)

هو قيمة مضاعفات التيار الابتدائى المقنن التى عندها يكون خطأ نسبة التحويل الفعلية لايزيد عن ١٠ ٪ وعند العبء المقنن . ويرمز له بالرمز (n) ويعبر عنها كالآتى ..... < n او ..... < n .

فمثلاً للملف الثانوى المستخدم لدوائر القياس يكون عامل زيادة الحمل n اقل من ٥ وتكتب $n < 5$ ومعناها عند قيمة اقل من ٥ مضاعفات قيمة التيار الابتدائى المقنن يجب الا يزيد خطأ نسبة التحويل الفعلية عن ١٠٪ ، ويوضح هذا فى شكل (٣-١).



نقطة تلامس
(كونتاكت)
يغذى من
محول التيار
أو
محول الجهد
ملف
(من دوائر التيار المستمر
أو من بطاريات المحطة
القدرة
فولت أمبير
مم٢
مقطع السلك
تيار مقنن
٥ أمبير
١ أمبير
طول سلك مفرد
متر

شكل (١ - ١)

شكل (٢ - ١)

هـ - الاختلاف الوجهى *The phase difference*

هو قيمة زاوية الاختلاف بين التيار الابتدائى المقنن والتيار الثانوى المقنن ويجب ان تكون هذه الزاوية صغيرة جداً .

س - خطأ نسبة التحويل *The ratio error*

هو النسبة المئوية بين تيار المغنطة والتيار الابتدائى المقنن

ص - درجة الدقة *Accuracy class*

تعرف درجة الدقة بدلالة كل من خطأ نسبة التحويل والاختلاف الوجهى بين التيار الابتدائى المقنن والتيار الثانوى المقنن

و - تيار التحمل الحرارى

The thermal current limit or short time withstand current

هو أقصى تيار يمر بالملف الابتدائى لمدة ثانية واحدة بدون الوصول الى درجة الحرارة التى تؤثر على المادة العازلة المستخدمة ويرمز له بالرموز I_{th}

ز - تيار التحمل الديناميكى *The dynamic current*

هو اعلى قيمة مسموحة يتحملها محول التيار عند حدوث قصر على الملفات الثانوية دون ان يحدث تلف للمحول ويرمز له بالرمز I_{dyn} (ويساوى ٢,٥ او ٢,٥٥ من I_{th}) .

الدائرة المكافئة لمحول التيار

يمثل شكل (٤-١) الدائرة المكافئة لمحول تيار مثالى ، حيث :

(K-L) تمثل الملف الابتدائى

(k-l) تمثل الملف الثانوى

I_p التيار الابتدائى المقنن (امبير)

I_s التيار الثانوى المقنن (امبير)

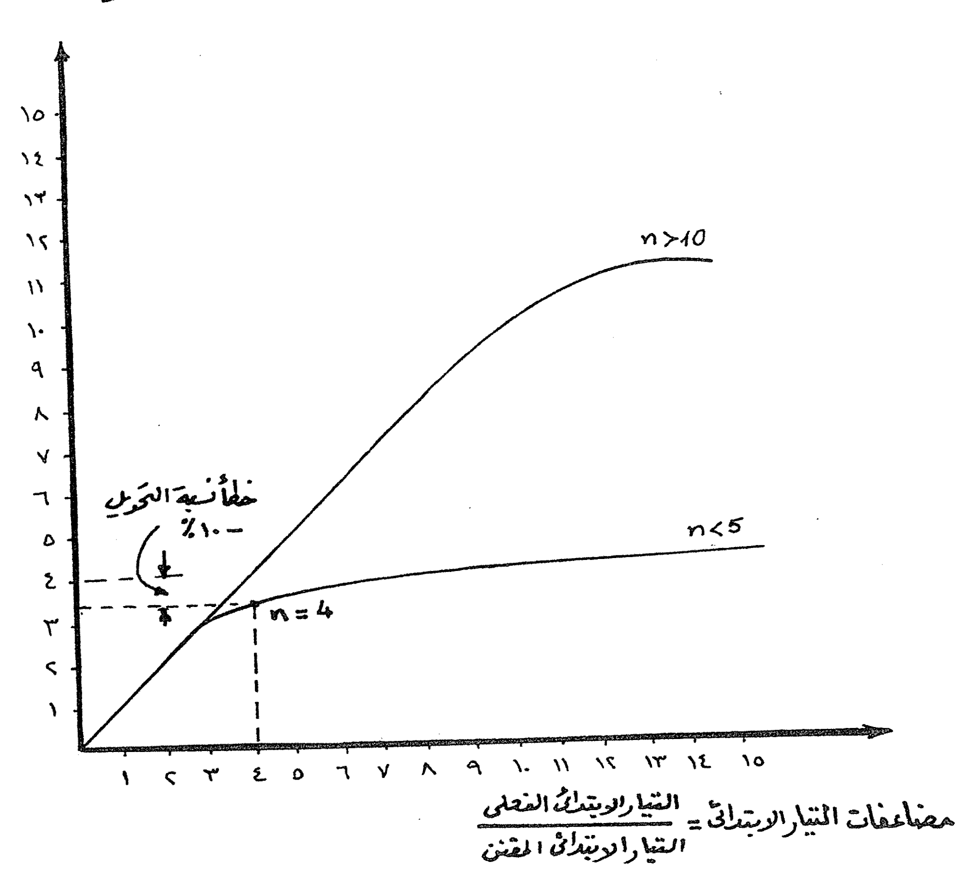
I_e تيارالاثارة (امبير)

N نسبة التحويل بين الملفات الثانوية و الملفات الابتدائية

Z_p معاوقة الملف الابتدائى (اوم)

Z_s معاوقة الملف الثانوى (اوم)

مضاعفات التيار الثانوى = التيار الثانوى الفعلى / التيار الثانوى المقنن



شكل (٣-١)

Z_e معاوقة الاثارة (اوم)

Z_L معاوقة ملفات التيار لاجهزة الوقاية او القياس التى سيتم توصيلها على اطراف الملف الثانوى لمحول التيار (وهى تكافئ عبء محول التيار) بوحدات اوم

E_s جهد الاثارة (ڤولت)

V_t جهد المخرج (ڤولت)

R_{CT} مقاومة الاسلاك المستخدمة (اوم)

وفى حالة محول التيار المثالى فان امبير - لفات الملف الابتدائى تتزن مع أمبير - لفات الملف الثانوى ، بينما فى الحقيقة يوجد جزء من امبير - لفات الملف الابتدائى يستهلك فى القلب الحديدى ، ممثلاً فى معاوقة الاثارة ، وهو مايعرف بأمبير - لفات المغنطة مسبباً مرور التيار I_e ، المتبقى يتزن مع امبير - لفات الملف الثانوى ونتيجة ذلك يوجد دائماً خطأ فى نسبة التحويل *(Ratio error)* وخطأ فى زاوية الوجه *(Phase angle error)* ويعرف خطأ نسبة التحويل من العلاقة :

$$Ratio\ error = \frac{I_e}{I_s}\ 100\ \%$$

نسبة الخطأ القياسية المستخدمة بالنظام الامريكى

بفرض مرور تيار بالملف الثانوى ٢٠ مرة من قيمة التيار الثانوى المقنن (٥ أمبير)اى مرور ١٠٠ أمبير بالملف الثانوى ، فان نسبة الخطأ يجب الا تتعدى ١٠ ٪ وذلك للحفاظ على قيمة الجهد الحادث على طرف الملف الثانوى فى الحدود المسموحة .

لتوضيح هذا ، فان القيم القياسية لتوصيف درجة الدقة *(Accuracy)* فى حالة الاستقرار *(Steady State)* هى كما فى جدول (١-١) :

جدول(١-١)

10 C 10	10 T 10
10 C 20	10 T 20
10 C 50	10 T 50
10 C 100	10 T 100
10 C 200	10 T 200
10 C 400	10 T 400
10 C 800	10 T 800

الحرف *(T)* يعنى توصيف درجة الدقة باستخدام الاختبار *(test)*

الحرف *(C)* يعنى توصيف درجة الدقة باستخدام الحسابات *(Calculation)*

الرقم الموجود قبل الرمز (الرقم ١٠ فى جميع الحالات) معناه ان نسبة الخطأ لاتزيد عن ١٠ ٪ عند اى تيار بالملف الثانوى من ١ الى ٢٠ مرة من قيمة التيار الثانوى المقنن وعند حمل قدره اقل من عبء محول التيار .

بينما الرقم الموجود بعد الرمز (الارقام ١٠ ، ٢٠ ، ٥٠ ....) فيعنى قيمة الجهد بين طرفى الملف الثانوى (V_t) وذلك للحفاظ على الا تتعدى نسبة الخطأ ١٠ ٪ .

وحيث انه يجب الا يزيد خطأ نسبة التحويل عن ١٠ ٪ فى جميع الحالات ، فانها تحزف ويكتب فقط *T100* او *C400* مثلاً ..

لايجاد توصيف محول تيار يجب معرفة منحنى الاثارة *(Excitation Characteristic)* للمحول.

مثال :

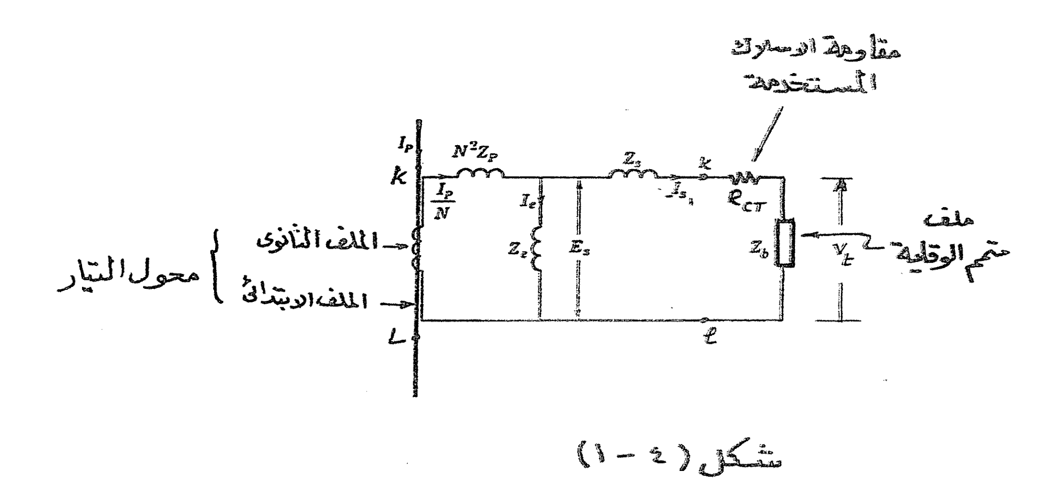
يراد معرفة توصيف محول تيار بفرض تيار الاثارة ١٠ امبير ومقاومة الاسلاك المستخدمة ١ اوم . كما فى شكل (٥-١)

اولاً من منحنى الاثارة لمحول التيار (شكل ٦-١) نحصل على قيمة جهد الاثارة E_s المقابل لتيار الاثارة I_e والذى يساوى ٦٠٠ ڤولت فى هذا المثال .

ويمكن الحصول على العلاقة الاتية من شكل (٥-١)

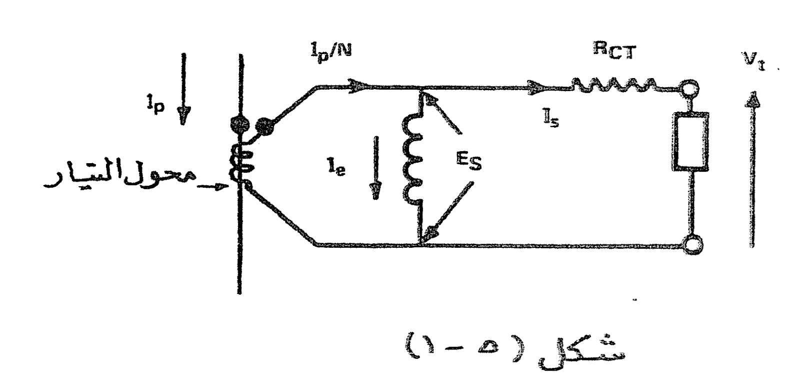
$$V_t = E_s - I_s R_{CT}$$

حيث ان اقصى نسبة خطأ ١٠ ٪ ، وتيار الاثارة (I_e) يساوى ١٠ أمبير فان



مقاومة الاسلاك المستخدمة
I_p
N^2Z_p
Z_s
k
$\frac{I_p}{N}$
I_e
I_s
R_{CT}
ملف متمم الوقاية
الملف الثانوى
محول التيار
الملف الابتدائى
Z_e
E_s
Z_b
V_t
L
ℓ

شكل (٤ - ١)



I_p/N
R_{CT}
V_T
I_p
I_s
محول التيار
I_e
E_S

شكل (٥ - ١)

$$10 = 100 \frac{I_e}{I_s} = 100 \frac{10}{I_s}$$

$\therefore \; I_s = 100$ امبير

بالتعويض فى العلاقة السابقة فان

$V_t = 600 - 100 \times 1 = 500$ ڤولت

ويتم اختيار درجة الدقة من جدول (١-١) بحيث لايتعدى جهد الملف الثانوى ، لمحول التيار المختار ، ٥٠٠ ڤولت اذا كانت نسبة الخطأ لاتتعدى ١٠ ٪ ، اى نختار *C400*

يوضح شكل (١-٧) بعض منحنيات الاثارة لمحولات تيار ذات نسب تحويل مختلفة

نسبة الخطأ القياسية حسب المواصفات القياسية *I. S : 2705 (part 2) - 1964*

هى اقصى نسبة خطأ ، مسموح بها ، عند العبء المقنن . ويتحدد بهذه المواصفات درجة الدقة القياسية لمحولات التيار المستخدمة لاجهزة القياس وهى :

0.1, 0.2, 0.5, 1 ,3, 5

ويمكن الاسترشاد ببعض التوصيات التالية عند اختيار محولات تيار لاستخدامات القياس والملخصة فى جدول (١-٢) .

ومن الجدول (١-٢) فان درجة الدقة ٠,٥ تعنى نسبة الخطأ ٠,٥ ٪ من قيمة المخرج المقنن وهكذا ...

نسبة الخطأ القياسية حسب المواصفات القياسية *I. S : 2705 (part 3) - 1964*

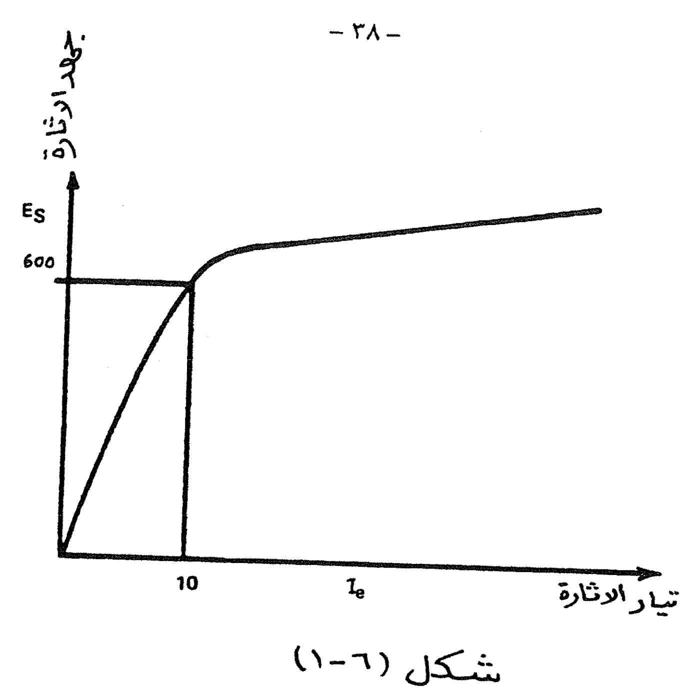
يتحدد بها درجة الدقة القياسية لمحولات التيار المستخدمة لاجهزة الوقاية وهى , *5p* *10p , 15p* حيث يستخدم الرمز *(p)* للتفرقة بين الملف الخاص بالقياس والملف الخاص بالوقاية *(Protection)* ، فمثلاً معنى درجة الدقة لمحول تيار *5 P 20* . ان هذا المحول يستخدم لأجهزة الوقاية (الرمز *P*) وان اقصى نسبة خطأ ٥ ٪ عندما يمر تيار بالملف الابتدائى مساوياً ٢٠ مرة من قيمة التيار الابتدائى المقنن . ويعرف الرقم ٢٠ بأنه معامل حد الدقة المقنن *(Rated accuracy limit factor)* والقيم القياسية لهذا المعامل هى : *5,10,15,20,30* وتتأثر بقيمة تيار الاثارة *(Exciting current)* المار بمعاوقة المغنطة

جدول(٢-١)

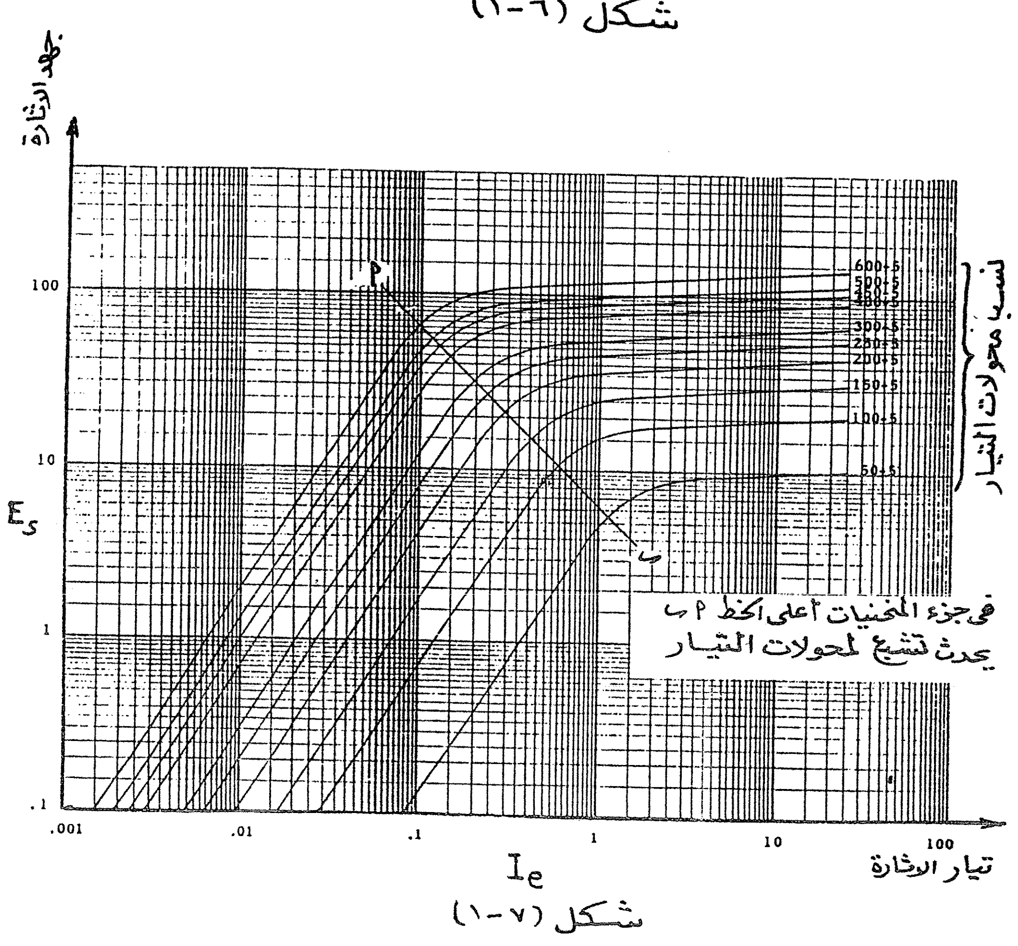
الدرجة Class	خطأ نسبة التحويل ٪ عند					الاختلاف الوجهي بالدقيقة (Minutes)				
	0.1 Ip	0.2 Ip	0.5 Ip	Ip	1.2 Ip	0.1 Ip	0.2 Ip	0.5 Ip	I_1	1.2 I_1
0.1	± 0.25	± 0.2	± 0.16	± 0.1	± 0.1	± 10	± 8	± 7	± 5	± 5
0.2	± 0.5	± 0.35	± 0.29	± 0.2	± 0.2	± 20	± 15	± 13	± 10	± 10
0.3	± 1	-	-	± 0.5	± 0.5	± 60	-	-	± 60	± 60
0.5	± 1	± 0.75	± 0.66	± 0.5	± 0.5	± 60	± 45	± 36	± 30	± 30
1	± 2	± 1.5	-	± 1	± 1	± 120	± 90	-	± 60	± 60
3	-	-	± 3	± 3	± 3	-	-	-	-	-
10 P	-	-	-	± 3	-	-	-	-	-	-

المواصفات القياسية لمحولات التيار :

185 , IEC 44-4
VDE 0414
SEN 270811


جهد الاثارة
Es
600
10
Ie
تيار الاثارة

شكل (٦-١)


جهد الاثارة
Es
100
10
1
.1
.001
.01
.1
1
10
100
Ie
تيار الاثارة
600:5
500:5
400:5
300:5
250:5
200:5
150:5
100:5
50:5
نسب محولات التيار
أ
ب
في جزء المنحنيات أعلى الخط أ ب
يحدث تشبع لمحولات التيار

شكل (٧-١)

ويلاحظ ان نسبة الخطأ فى محولات التيار المستخدمة للقياس صغيرة عن نسبة الخطأ المستخدمة للوقاية ، وهذا يستدعى ان يكون القلب الحديدى له نفاذية *(Permeability)* عالية جداً وكذلك ان تكون مفقودات القلب منخفضة بقدر الامكان وان يعمل محول التيار عند قيمة كثافة فيض *(Flux density)* منخفضة ، بينما محولات التيار المستخدمة لاغراض الوقاية لا تستلزم كل هذا ، ولكن يجب مراعاة ان أجهزة الوقاية تعمل عند مرور تيارات عالية جداً ، تيارات القصر ، بالملف الابتدائى والتى تنتقل بالتأثير بالملف الثانوى وبالتالى يجب الا يحدث تشبع لمحولات التيار عند هذه اللحظة ولذلك يجب ان يتحمل محول التيار الاجهادات الميكانيكية والحرارية نتيجة مرور التيارات العالية جداً .

وفى حالة تعرض محول التيار للحالات العابرة *(Transient)* فانه يتم اهمال معاوقة المغنطة لكبرها . وبالتالى فان تيار المغنطة يكون صغيراً جداً .

ولتعريف خطأ زاوية الوجه *Phase angle error* وبالرجوع الى شكل (٤-١) نجد انه يمكن رسم موجهات *(Phasors)* التيارات I_p , I_s , I_e كما فى شكل (٨-١) اى ان *Ip,Is* ليستا فى اتفاق وجهى ولكن بينهما زاوية δ هى زاوية الخطأ .

يحدد التيار المقنن لزمن قصير *(Short time current rating)* لمحول التيار ، بالعوامل الآتية :

أ - قيمة جذر متوسط مربعات *(rms)* تيار القصر خلال الفترة الزمنية لدائرة القصر .

ب - الفترة الزمنية لدائرة القصر

جـ- قيمة أقصى تيار قصر غير متماثل *A symmetrical short circuit current*

ء - الجهود العابرة عند لحظتى بداية تيار القصر ونهاية القصر ، عن طريق فتح قاطع التيار .

وينتج عن العاملين (أ،ب) الحد الحرارى ، وعن العامل (جـ) الحد الميكانيكى ، وعن العامل (ء) حد الفيض وفيما يلى تعريف كل منهم :

الحد الحرارى *Thermal limit*

يوضح جدول (٣-١) كثافة التيار المسموح ، فى موصلات الملفات الابتدائية ، والزمن المسموح به ، ويمكن إيجاد اقل مساحة مقطع للملف الابتدائى من العلاقة :

$$\text{أقل مساحة مقطع موصل الملف الابتدائى} = \frac{\text{أقصى جذر متوسط مربعات تيار القصر المسموح (امبير)}}{\text{كثافة التيار المسموح (امبير/مم٢)}} \text{ مم٢}$$

جدول(٣-١)

الزمن المقنن ثانية	كثافة التيار المسموح امبير / مم٢
٠,٥	٢٢٦
١	١٦٠
٢	١١٣
٣	٩٢
٥	٧٥

مثال :

محول تيار ذو نسبة تحويل ٥٠ / ٥ مطلوب تركيبة على نظام ثلاثى الاوجه جهد ١١ ك.ف ـ سعة قاطع التيار ١٥٠ م.ف.أ . أحسب مساحة مقطع ملفات الملف الابتدائى ، اذا كان زمن دورة القصر ٠,٥ ثانية

الحل

$$\text{تيار القصر} = \frac{١٥٠ \times ١٠^{٣}}{\sqrt{٣} \times ١١} = ٧٩٠٠ \text{ أمبير}$$

$$\text{معامل زمن القصر } (Short\ time\ factor) = \frac{\text{تيار القصر لزمن قصير}}{\text{التيار المقنن الابتدائى}} = \frac{٧٩٠٠}{٥٠} = ١٥٨$$

ومعنى هذا ان تيار القصر لزمن قصير يساوى ١٥٨ مرة التيار المقنن الابتدائى

من جدول (٣-١) عند زمن دورة القصر ٠,٥ ثانية فان كثافة التيار المسموح = ٢٢٦ امبير / مم٢

∴ اقل مساحة مقطع ملفات الملف الابتدائى = $\frac{٧٩٠٠}{٢٢٦}$ = ٣٥ مم٢

ويعرف تيار القصر بأنه جذر متوسط مربعات تيار القصر المتماثل ، بينما جذر متوسط مربعات تيار القصر غير المتماثل ، يكافئ ٢,٥٥ مرة تيار القصر المتماثل . وعلى ذلك يجب ان يقاوم محول التيار أقصى قيمة جذر متوسط مربعات تيار القصر غير المتماثل والذى يساوى

٧٩٠٠ × ٢,٥٥ = ٢٠ ك . امبير .

الحد الميكانيكى *Mechanical Limit*

يعتمد الحد الميكانيكى على عدة عوامل منها : أقصى قيمة تيار قصر ابتدائى ، وعدد لفات الملف الابتدائى ، وشكل الملفات ، بينما تهمل الاجهادات او القوى الناتجة فى الملف الثانوى . حيث ان القوى الكهرومغناطيسية تتناسب مع مربع امبير ـ لفات ، لذلك فمن الضرورى تقليل عدد لفات الملف الابتدائى بالاضافة الى تقليل محيط اللفة . كذلك تصمم الملفات الابتدائية بحيث تقاوم القوى الكهرومغناطيسية الناتجة عن اقصى تيار قصر غير متماثل (٢,٥٥ مرة من قيمة تيار القصر المتماثل) اذا كان الملف الابتدائى على شكل قضيب *(Bar)* فانه يقاوم القوى الكهرومغناطيسية بدرجة عالية .

حد النبضة *Impulse limit*

يفضل ان يكون الملف الابتدائى على شكل قضيب لانه يقاوم جهد كسر النبضة *(Impulse voltage* breakdown) ، بينما يؤخذ فى الاعتبار توزيع جهد الكسر للملفات الابتدائية التى تحتوى على عدد من اللفات ، فمثلاً الملف الابتدائى المكون من شرائح نحاس مسطحة *(Flat copper strips)* تلف الشريحة فوق الاخرى ولاترتب جنباً الى جنب ، بحيث يتم توزيع جهد الكسر ، بانتظام على كل اللفات وبالتالى يقل أقصى جهد لكل لفة ، بمعنى آخر ان تكون قيمة السعوية بين اللفات متساوية ، وفى التصميمات الحديثة لمحولات التيار يتم إضافة دروع استاتيكية *(Static shields)* خلال الملفات

تمثل كمكثفات على التوازى مع الملفات الابتدائية وبذلك يكون الغرض من الدروع تجهيز مسار للترددات العالية والحد من اجهادات الجهد باللفات الداخلية .

مما سبق يتضح أنه يفضل أن تكون عدد لفات الملف الابتدائى قليلة بينما يكون مقطع اللفة كبيراً . ويصمم الملف الثانوى بحيث يتحمل الجهود الحادثة بين اللفات الداخلية تحت جميع الظروف غير العادية . وحيث ان زمن ارتفاع تيار القصر الابتدائى يكون صغيراً جداً فان معدل التغير فى الفيض يكون عالياً جداً والنتيجة ارتفاع اقصى جهد بين طرفى الملف الثانوى ، اذا كان الملف الثانوى مفتوحاً وعلى ذلك يحدث التغير فى الفيض تيارات اعصارية *(Eddy current)* تسبب مفقودات عالية ، تظهر على شكل ارتفاع فى حرارة الملف الثانوى المفتوح ، وأقصى زمن مقنن مسموح لدائرة الملف الثانوى المفتوح ، هو دقيقة واحدة فقط ، فاذا استمر الجهد الناتج بين طرفى الملف الثانوى المفتوح لمدة طويلة فانه يتسبب فى انهيار العزل .

طرق تمثيل محولات التيار *Symbols*

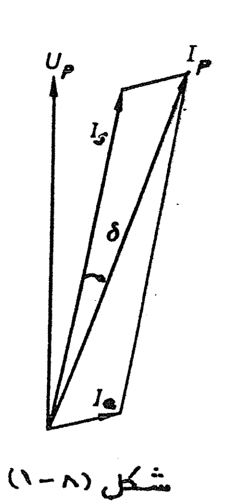
توجد اكثر من طريقة لتمثيل محولات التيار ، والتى يراعى فيها الآتى :

- هل محول التيار يحتوى على ملف ثانوى واحد او اكثر ؟

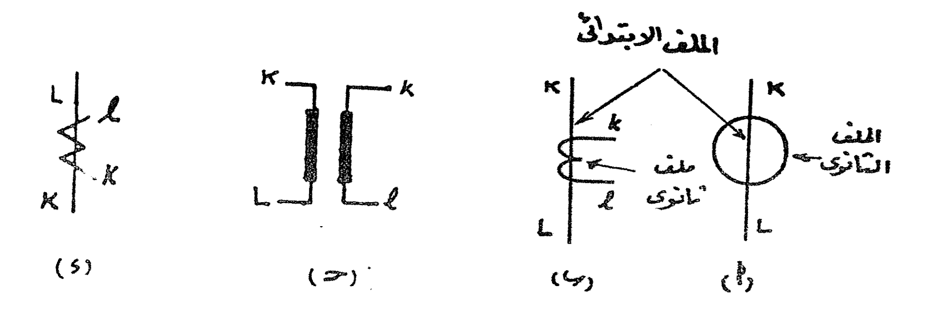
- فى حالة وجود اكثر من ملف ثانوى يظهر لنا سؤال هل جميعهم مشتركين فى نفس القلب ام لكل ملف ثانوى قلب منفصل . مثل حالة تركيب اكثرمن محول تيار فى نفس الموضع ، لاغراض مختلفة ، او تركيب محولات تيار حلقية كل منها تحتوى على ملف ثانوى .

يوضح شكل (٩-١) طرق تمثيل محولات التيار حسب البلد الصانع ، حيث تستخدم امريكا التمثيل فى الاشكال ب ، جـ ، ء بينما روسيا تستخدم التمثيل فى الاشكال جـ ، ء والنظام الالمانى يستخدم الاشكال أ ، ب فى هذا الكتاب سيتم استخدام اكثر من طريقة للتمثيل حتى يتعود القارئ عليها ولكى نفرق بين الملفات الثانوية التى على نفس القلب او ان كل ملف ثانوى على قلب مستقل فانه يتم اضافة خط بجوار الملف الثانوى لتوضيح هذا كما فى شكل (١٠-١) وغالباً ما يلغى هذا الخط ولكن ذكر للتوضيح .

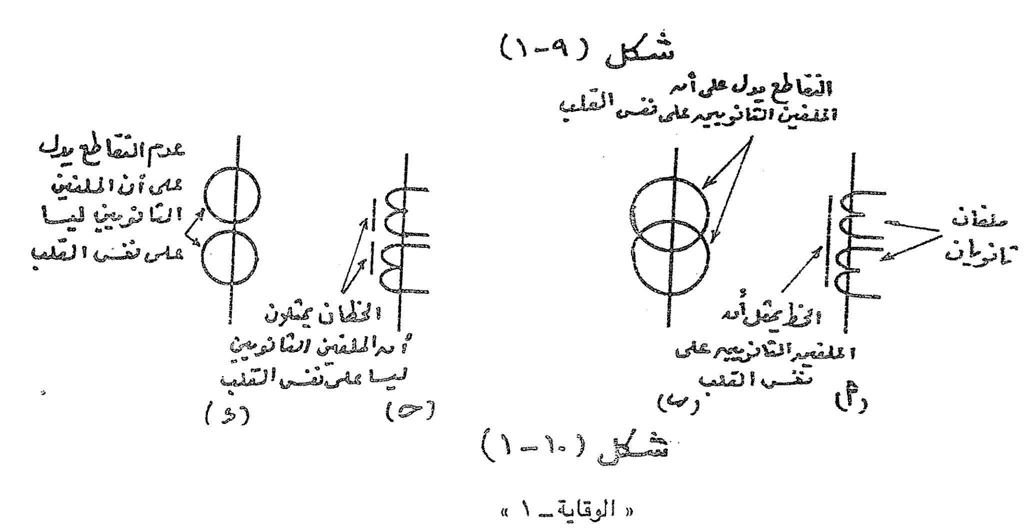
يوضح شكل (١١-١) الطرق الشائعة لتمثيل محولات التيار ، حيث يمثل شكل (أ) محول تيار يحتوى على ملف ثانوى واحد ، بينما شكل (ب) يمثل محول تيار يحتوى على



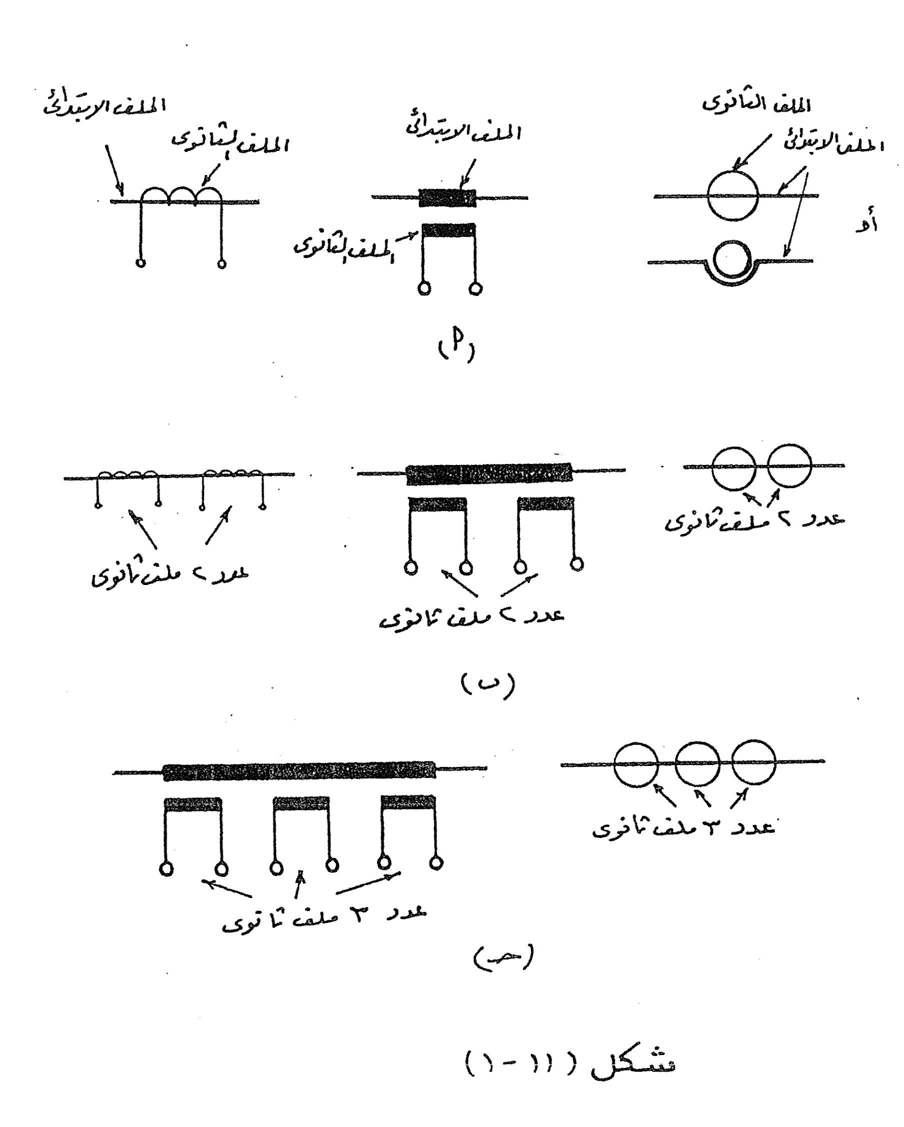
شكل (٨-١)



شكل (٩-١)



شكل (١٠-١)


الملف الابتدائى
الملف الثانوى
الملف الابتدائى
الملف الثانوى
الملف الثانوى
الملف الابتدائى
أو
(أ)
عدد ٢ ملف ثانوى
عدد ٢ ملف ثانوى
عدد ٢ ملف ثانوى
(ب)
عدد ٣ ملف ثانوى
عدد ٣ ملف ثانوى
(جـ)

شكل (١١ - ١)

ملفين ثانويين ، شكل (جـ) يوضح محول تيار يحتوى على ثلاثة ملفات ثانوية

امثلة لطريقة كتابة مقننات محولات التيار :

نسبة التحويل :	١٠٠ / ٥ امبير
العـــــبء :	١٥ ڤولت أمبير
درجة الدقـــة :	٠,٥
جهد التشغيل :	١١ ك.ف

معنى هذه البيانات ان محول التيار يحتوى على ملف ثانوى واحد ، يمكن توصيله على ملفات اجهزة قياس بعبء ١٥ ڤولت امبير ـ نسبة الخطأ ٠,٥ ٪ ويتم تركيبه على شبكة جهد ١١ ك . ڤ .

نسبة التحويل :	١٠٠ / ٥ / ٥ أمبير
العـــــبء :	١٥ ٣٠ ڤولت امبير
درجة الدقـــة :	٠,٥ ٥
جهد التشغيل :	١١ ك. ڤ

معنى هذه البيانات ان محول التيار يحتوى على ملفين ثانويين ، كل منهما ٥ أمبير ، عبء الملف الاول ١٥ ڤولت امبير ونسبة الخطأ فيه ٠,٥ ٪ .

عبء الملف الثانى ٣٠ ڤولت امبير ونسبة الخطأ فيه ٥ ٪

ويتم تركيبه على شبكة جهد ١١ ك . ڤ .

طرق توصيل محولات التيار

تركب محولات التيار عادة على نظام ثلاثى الاوجه ، بحيث يتم تركيب محول تيار لكل وجه ، ويمر التيار الابتدائى لكل وجه بالملف الابتدائى لمحول التيار ويكون التيار الثانوى المار بالملف الثانوى تمثيلاً للتيار الابتدائى حسب نسبة التحويل .

يوضح شكل (١٢-١) خط ثلاثى الاوجه مركب عليه ثلاثة محولات تيار ، ويحتوى كل منهم على ملف ثانوى $(k\text{-}l)$ حيث تمثل Ia, Ib, Ic التيار الابتدائى بالثلاثة اوجه والتى تتحول فى الملفات الثانوية بقيم تعتمد على نسبة تحويل محولات التيار المستخدمة .

يتم توصيل محولات التيار الثلاثة معاً باحدى الطرق الآتية .

أ - توصيلة نجمة *Wye connection*

تستخدم هذه الطريقة فى الحالات الآتية :

- قياس التيارات المارة بالثلاثة اوجه من خلال اميرومتر

- تركيب أجهزة وقاية ذات حساسية للتيارات المارة بالثلاثة اوجه ، حيث يتم توصيل ملف تيار خاص بجهاز الوقاية لكل وجه .

- تركيب جهاز وقاية ذو حساسية لمحصلة الجمع الاتجاهى للتيارات المارة بالثلاثة اوجه ، او بمعنى آخر جهاز ذى حساسية ضد التيار المار بنقطة التعادل او الارضى .

ولكى نحصل على توصيلة نجمة يتم توصيل الثلاثة اطراف l (لكل ملف ثانوى) معاً وتوصيلهم بالارضى ، ثم توصيل الاطراف k (لكل ملف ثانوى) الى ملف التيار لجهاز الوقاية او القياس ثم تتجمع الاطراف الخارجة معاً لتوصل الى ملف التيار لجهاز الوقاية ضد التسرب الارضى والذى تكتمل دائرته بالتوصيل مع نقطة التجميع (او التعادل) لمحولات التيار ، ويوضح شكل (١٣-١) تلك التوصيله حيث :

I_a , I_b , I_c التيارات الابتدائية المارة بالاوجه a,b,c

i_a , i_b , i_c التيارات الثانوية المارة بملفات اجهزة الوقاية .

$\bar{i_a} + \bar{i_b} + \bar{i_c}$ الجمع الاتجاهى ويمر بملف جهاز الوقاية المركب على نقطة التعادل .

ب - توصيلة دلتا *Delta connection*

تستخدم هذه الطريقة فى الحالات الآتية :

- قياس فرق التيارين المارين بوجهين (مثلاً $I_a - I_b$)

- تركيب جهاز وقاية للكشف عن فرق التيارين المارين بوجهين .

ويمكن الحصول على هذه التوصيله باحدى الطريقتين المذكورتين فى شكل (١٤-١) التوصيله فى شكل (١٤-١) أ تعطى فرق التيارات .

$$i_c - i_a \; , \; i_b - i_c \; , \; i_a - i_b$$

بينما التوصيلة فى شكل (١٤-١) ب تعطى فرق التيارات

$i_c - i_b , i_b - i_a , i_a - i_c$

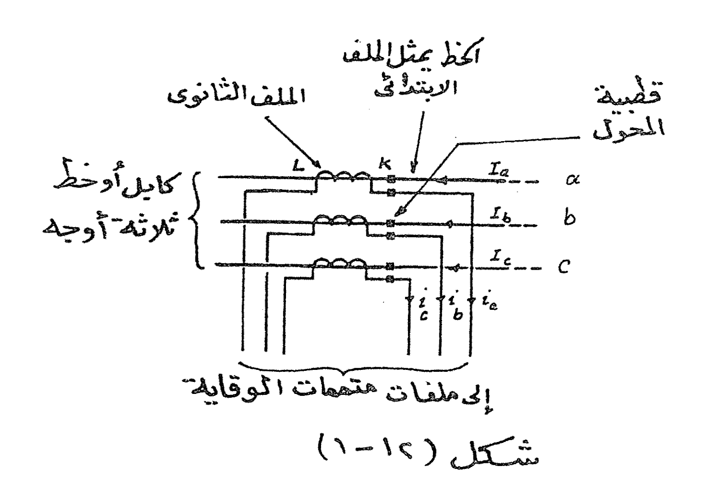
وقد نحتاج احياناً الى محول تيار واحد على احد الاوجه لقياس التيار المار بهذا الوجه مثل حالة توصيل اميرومتر كما فى شكل (١٥-١)

يمكن استخدام محولى تيار فقط يركبان على الوجهين a,c مثلاً . ويستخدم جهازى وقاية ضد زيادة التيار بالاضافة الى جهاز وقاية ضد التسرب الارضى كما فى شكل (١٦-١).

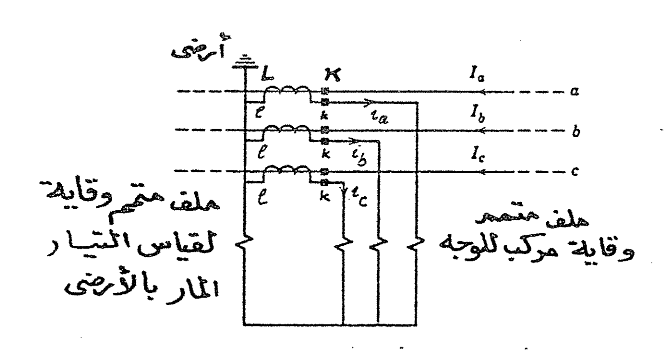
فاذا استخدمنا ملفان ثانويان معاً لتغذية جهاز وقاية او قياس كما فى شكل (١٧-١) فيجب ان يراعى فى هذه الحالة عبء محولات التيار المستخدمة *(Burder)* ، فبمراجعة شكل (١٧-١) أ يكون عبء كل محول تيار يساوى نصف مقاومة ملف الجهاز المستخدم ، بينما فى شكل (١٧-١) ب يكون عبء كل محول تيار مساوياً لضعف قيمة مقاومة ملف الجهاز . فى كثير من الاحيان لاتكون نسبة تحويل محول التيار مناسبة عند تركيب جهاز وقاية معين ، لذلك يمكن اضافة محول تيار مساعد *(Auxiliary C.T.)* يعمل على تعديل نسبة التحويل للقيمة المناسبة ، ويوضح شكل (١٨-١) محول تيار مركب على وجه واحد مع توصيل جهاز الوقاية على الملف الثانوى من خلال محول تيار مساعد . ومحول التيار المساعد يتمتع بجميع خصائص محول التيار ولكنه يركب فى خلية الوقاية او القياس بعيداً عن معدات الجهد العالى ، ويوصل الملف الابتدائى له على الملف الثانوى لمحول التيار الرئيسى بينما يوصل الملف الثانوى له على ملف التيار لجهاز الوقاية او القياس . ويمكن استخدام المحولات المساعدة كدائرة عزل او لتغيير زوايا التيارات .

وتكون معاوقة الحمل Z_B تساوى N^2Z_B حيث Z_B المعاوقة الثانوية لمحول التيار ، N نسبة تحويل المحول المساعد ويوضح شكل (١٩-١) طريقة توصيل ثلاثة محولات تيار مساعد:لنظام ثلاثى الاوجه يحتوى على ثلاثة محولات تيار موصلين على أجهزة وقاية (جهاز لكل وجه) بالاضافة الى جهاز ارضى ، فى هذه التوصيله لايمر تيار مركبة التتابعية الصفرية *(Zero phasesequence current)* فى أجهزة الوقاية المركبة على الاوجه ولكن تكتمل دائرته من خلال محولات التيار المساعدة وسيتم توضيح هذا فيما بعد عند الحديث عن الوقاية التفاضلية .

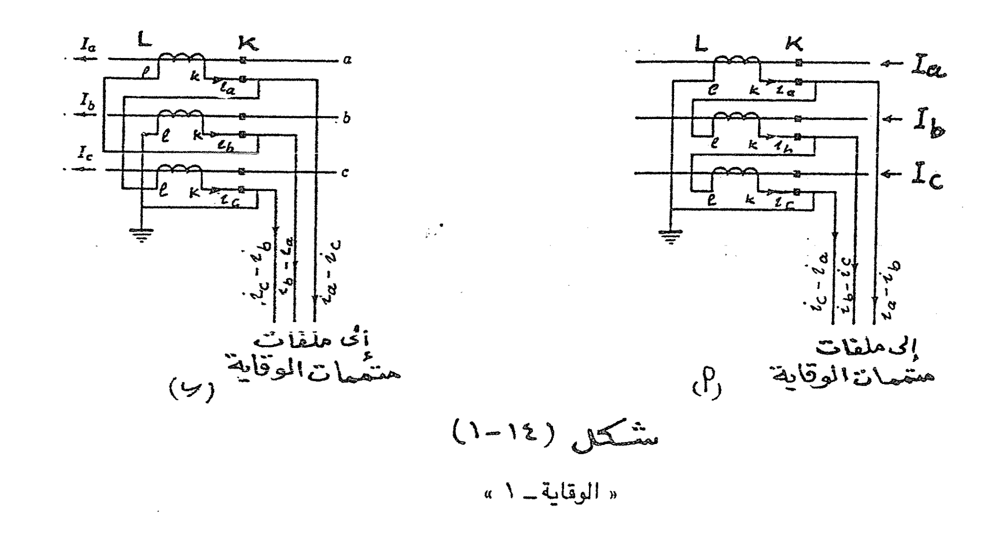
يوضح شكل (٢٠-١) مثالاً لمحول تيار مساعد انتاج المانى ، يحتوى على عدد ٤



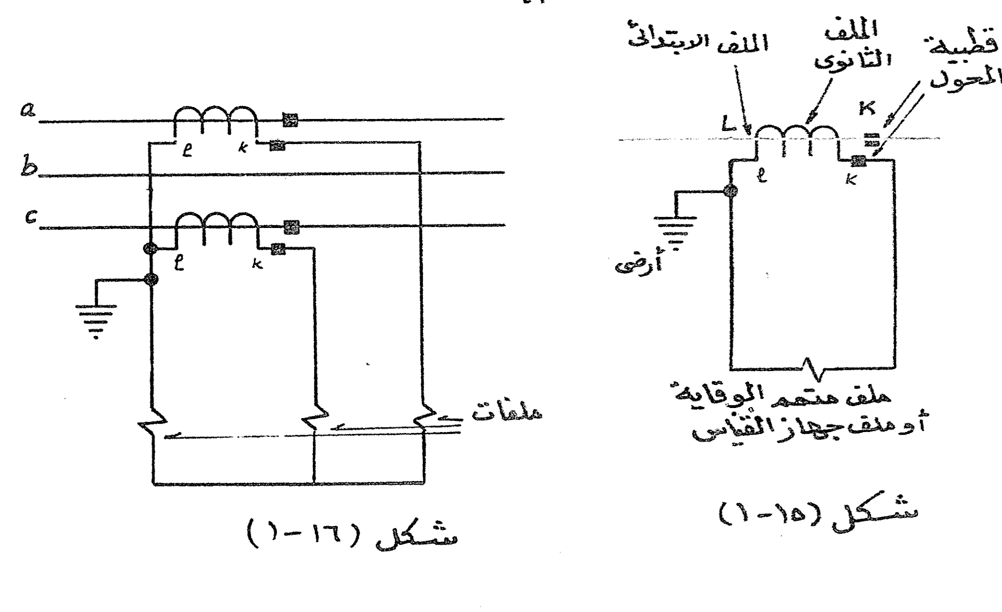
شكل (١٢-١)



شكل (١٣-١)

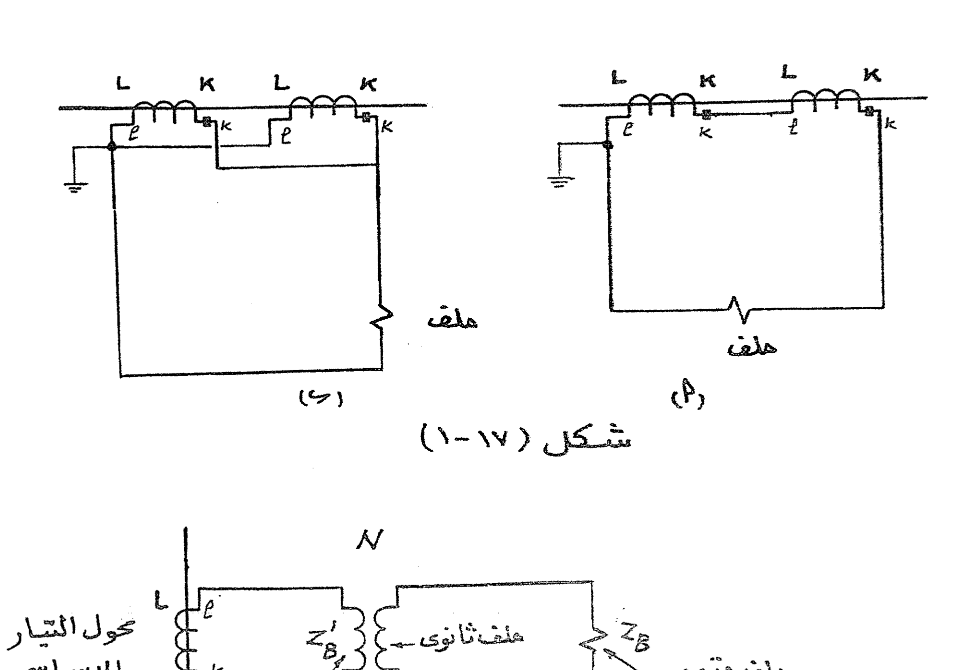


شكل (١٤-١)



شكل (١٦-١)

شكل (١٥-١)



شكل (١٧-١)

شكل (١٨-١)

ملفات ابتدائية وهى على التوالى K_a-L_a, K_b-L_b, K_c,L_c, K_d-L_d المقنين لكل منهم ٥ أمبير ويحتوى على ملفين ثانويين هما k_a-l_a , k_b-l_b ويساوى التيار المقنن لكل منهما ١ أمبير ويمكن الحصول على أكثر من مرادف لتوصيلات هذا المحول حسب نسبة التحويل المراده.

يوضح شكل (٢١-١) محول تيار مقنناته كالآتى :-

نسبة التحويل : ٤٠٠ / ٥ / ٥ أمبير

العـــــبء : ٣٠ ٦٠ ڤولت أمبير

درجة الدقـــة : 0.5 5P8

عامل زيادة الحمل (n) : $5 >$

يحتوى هذا المحول على ملفين ثانويين ، الملف الاول هو *1k, 1l* ويوصل عليه اميرومتر لكل وجه لقياس التيار المار به ، والملف الثانى هو *2k,2l* ويوصل عليه ملفات التيار لجهازوقاية ، لكل وجه بالاضافه الى جهاز ارضى .

يوضح شكل (٢٢-١) محول تيار مقنناته كالآتى :

نسبة التحويل : ٨٠٠/٥ / ٥ / ٥ أمبير

العـــــبء : ٣٠ ٦٠ ٦٠ ڤولت أمبير

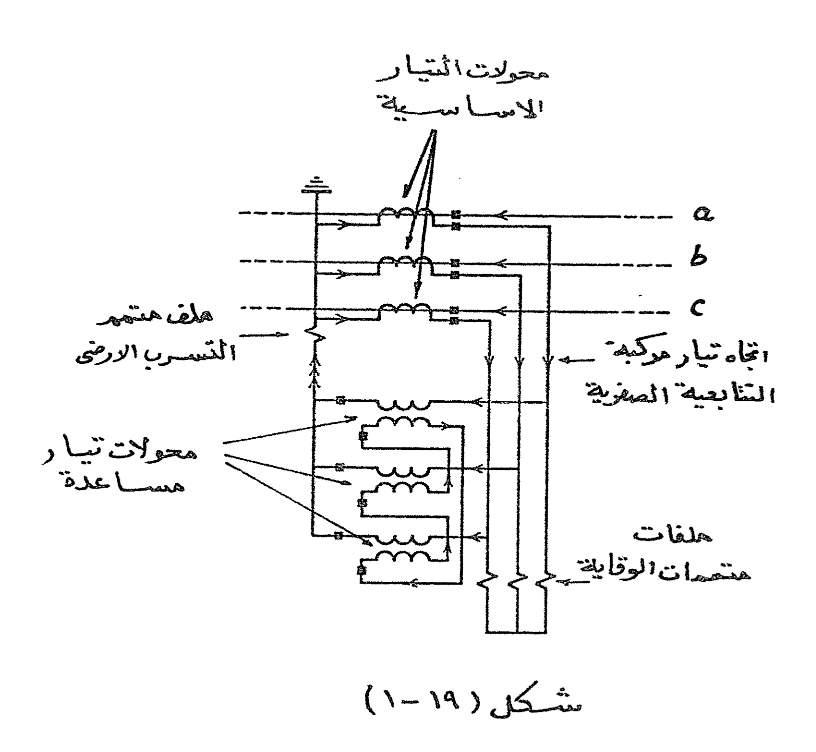
درجة الدقـــة : 0.5 5p8 5P8

عامل زيادة الحمل (n): $5 >$

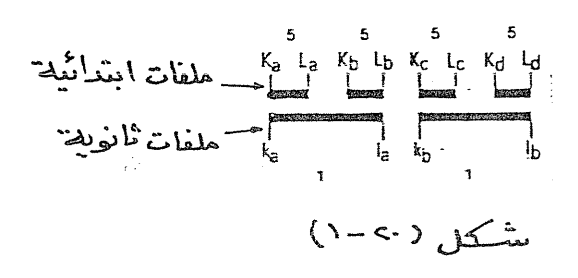
هذا المحول يحتوى على ثلاثة ملفات ثانوية ، الملف الاول هو : *1k,1l* وتم توصيل اميرومتر لكل وجه ، الملف الثانى هو *2k,2l* وتم توصيل ملفات التيار لجهاز وقاية لكل وجه بالاضافه الى جهاز ارضى ، الملف الثالث وهو *3k,3l* وتم توصيل ملفات تيار لجهاز وقاية آخر ، لكل وجه .

اختبارات محولات التيار *Testing a current transformers*

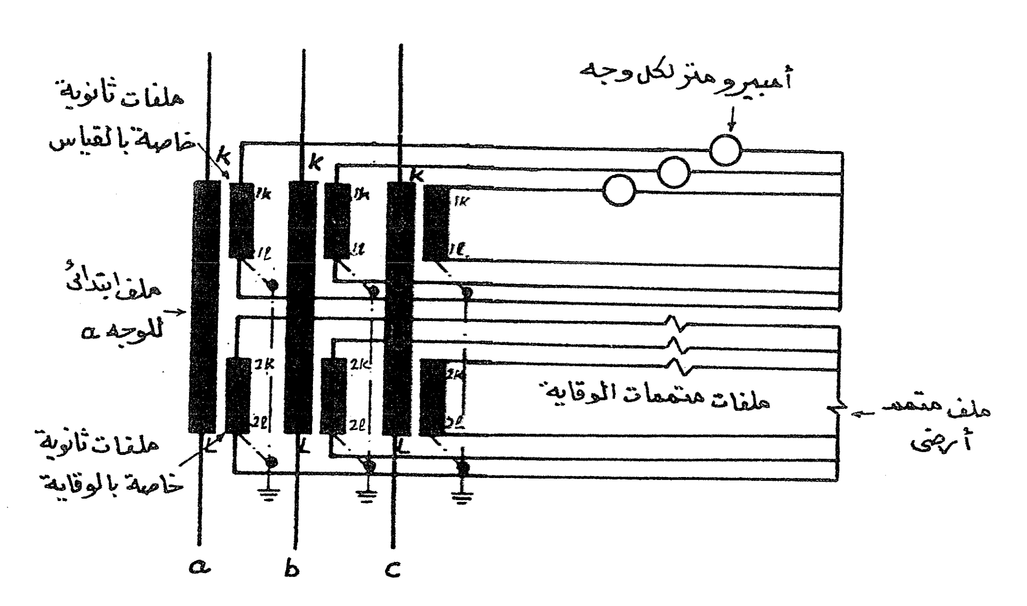
قبل إجراء الاختبارات على محول التيار يتم تسجيل بيانات المحول من لوحة البيان المركبة عليه *(nameplate)* من حيث نسبة التحويل ، عدد الملفات الثانوية ، ورموز



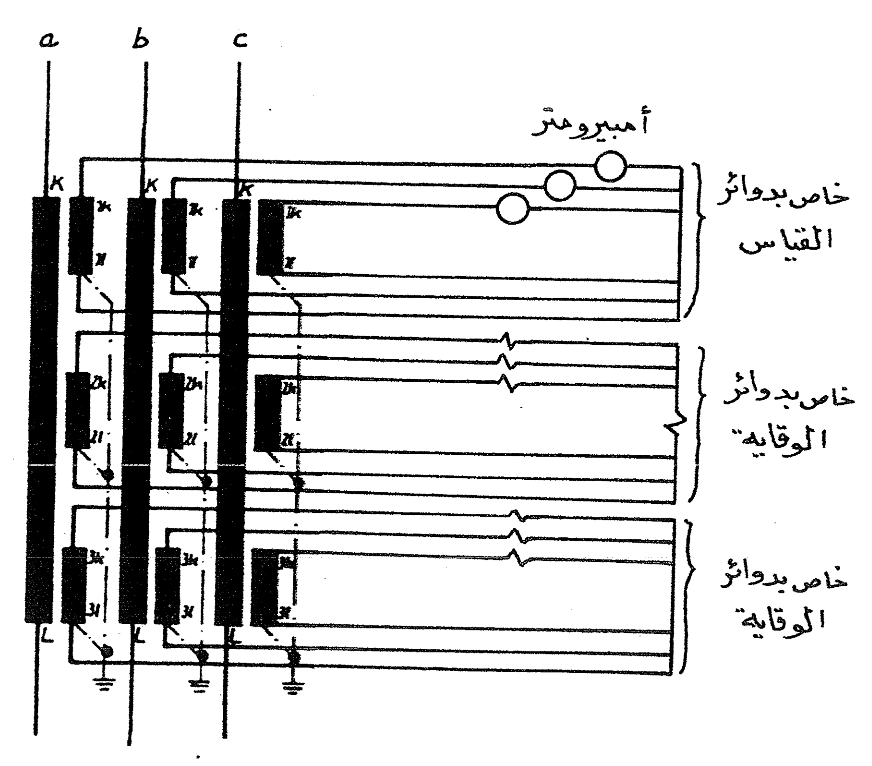
شكل (١٩-١)



شكل (٢٠-١)



شكل (٢١-١)



شكل (٢٢-١)

اطراف الملفات الثانوية ، عبء كل ملف ، ....

ثم يتم اجراء الاختبارات الآتية :

١- اختبار مقاومة الملفات *Winding's resistance test*

تقاس مقاومة كل من الملفات الثانوية والابتدائية وتسجل القراءات بوحدات الاوم وذلك للتأكد من استمرارية الملفات داخل جسم محول التيار .

٢- اختبار العزل *An insulation test*

يستخدم ميجر *(Megger)* ، ٥٠٠ ڤولت على الاقل ، ثم يقاس العزل بين :

- الملفات الثانوية والملف الابتدائى .

- الملف الابتدائى وجسم المحول (مع عمل دائرة قصر بين الملفات الثانوية وجسم المحول)

- الملفات الثانوية وجسم المحول (مع عمل دائرة قصر بين الملف الابتدائى وجسم المحول) وتكون وحدة العزل ميجا اوم .

٣- اختبار القطبية *A Polarity test*

يوصل فولتمتر *(d.c)* بين طرفى الملف الثانوى بحيث يوصل الطرف الموجب للڤولتمتر على النهاية k والطرف السالب على النهاية l ـ ثم توصل بطارية صغيرة لحظياً بين طرفى الملف الابتدائى وليكن الطرف الموجب للبطارية على النهاية k ، كما فى شكل (٢٣-١) ويلاحظ اتجاه مؤشر الڤولتمتر . فاذا كان فى الاتجاه الموجب فمعنى ذلك ان الطرف K فى اتفاق وجهى مع الطرف k اى ان القطبية سليمة ، اما اذا كان المؤشر فى الاتجاه السالب فان القطبية تكون معكوسة ، ويكرر الاختبار على باقى الملفات الثانوية ، اذا كان محول التيار يحتوى على اكثر من ملف ثانوى . فمعنى القطبية ان التيار الابتدائى يدخل فى الطرف K بينما التيار الثانوى يخرج من الطرف k .

غالباً ماتوضع علامات لبيان قطبية الملفات الابتدائية والثانوية ، لاحظ ذلك فى جميع الاشكال السابقة الخاصة بمحولات التيار ، كذلك فى شكل (٢٣-١). فاذا كانت رموز اطراف الملفات الابتدائية والثانوية على جسم المحول غير موجودة او غير واضحة . فيمكن عمل رسم تمثيلى لهذا المحول ثم اجراء الاختبار السابق وتكراره حتى يتم تحديد

قطبية محول التيار .

٤- اختبار نسبة التحويل *A Ratio test*

اذا كانت نسبة تحويل محول التيار معلومة ، فيحقن الملف الابتدائى بقيمة التيار الابتدائى المقنن الخاصة به ، باستخدام جهاز حقن تيار ابتدائى ، ويكون الملف الثانوى موصلاً على اميبرومتر لقراءة التيار الثانوى المقنن الذى يمر به ، وبذلك يمكن التأكد من صحة نسبة التحويل .

اذا لم تكن نسبة التحويل معلومة ، فيمكن حقن الملف الابتدائى بقيمة مناسبة وقياس التيار الذى يمر بالملف الثانوى عن طريق توصيله باميبرومتر وبقسمة قيمة التيار الابتدائى على التيار الثانوى نحصل على نسبة التحويل .

واذا كان محول التيار يحتوى على اكثر من ملف ثانوى فيجب عمل دائرة قصر على الملفات الثانوية الاخرى كما فى شكل (٢٤-١) .

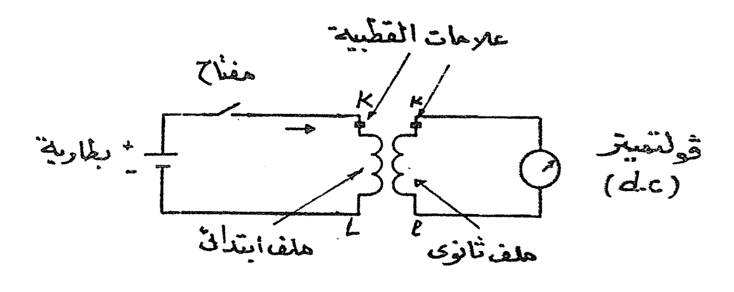
٥- اختبار التشبع *A Saturation test*

نقوم فى هذا الاختبار بتسليط جهد متزايد متردد *(a.c)* بين طرفى الملف الثانوى مع ترك الملف الابتدائى مفتوحاً ، حتى يحدث تشبع للقلب .

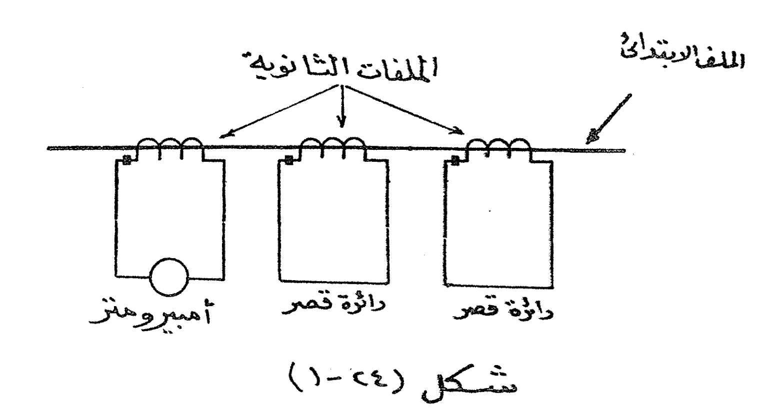
يوصل كما فى شكل (٢٥-١) مصدر جهد متردد يمكن تغييره من صفر الى ٢٤ فولت بين طرفى الملف الثانوى . مع توصيل امبيرومتر على التوالى ، وڤولتمتر على التوازى مع مصدر للتغذية وترك الملف الابتدائى مفتوحاً .

يبدأ زيادة الجهد تدريجياً حتى تصل قراءة الامبيرومترالى ٥٠٠ مللى أمبير مع تسجيل قيمة الجهد المقابلة لهذا التيار . ثم نقلل الجهد تدريجياً حتى الوصول الى قيمة الصفر ، نقوم بتجهيز جدول للقراءات بين الجهد والتيار حسب قيمة اقصى جهد مقاسة . بحيث يبدأ الجهد من الصفر وحتى أقصى قيمة مقاسة ويتم اختبار عدد من النقاط بينهما . ويعاد الاختبار وتسجل القراءآت .

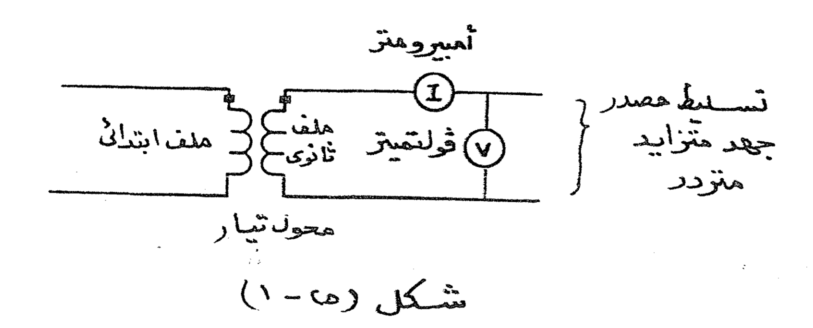
نرسم العلاقة بين التيار (كمحور افقى) والجهد (كمحور رأسى) للحصول على ما يعرف بمنحنى التشبع .



شكل (٣-١)



شكل (٤-١)



شكل (٥-١)

أنواع محولات التيار *Type of current transformers*

يوجد ثلاثة انواع من محولات التيار :

١- محول تيار من نوع الشباك (الحلقى)

Window-Type C.T

or Through -Type C.T or Ring-Type C.T

يتكون محول التيار الحلقى من قلب على شكل حلقة اسطوانية مصنوعة من شرائح الحديد ، ويلف الملف الثانوى على القلب ـ بينما يعتبر الكابل او الخط او القضيب المار خلال الفتحة الحلقية لمحول التيار ، هو الملف الابتدائى .

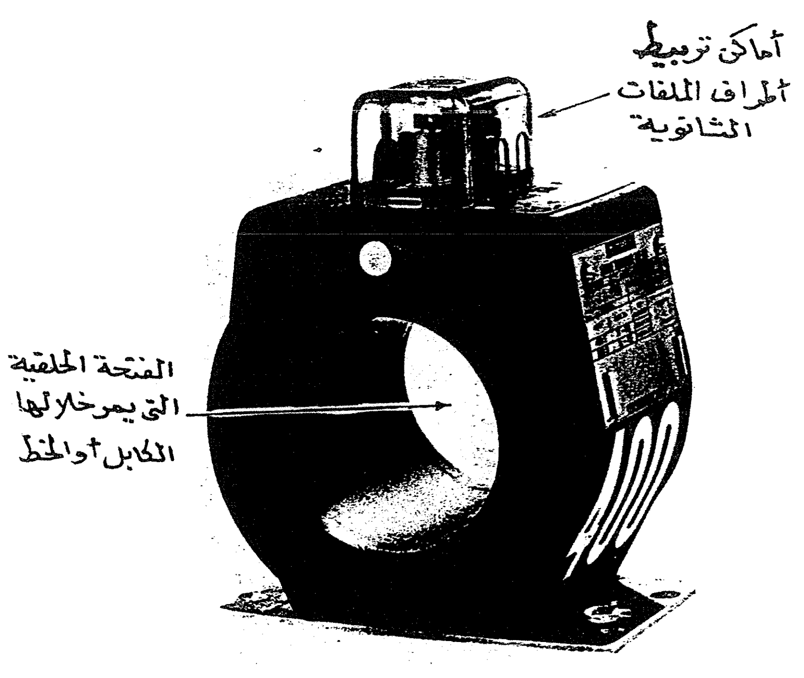
ويوضح شكل (٢٦-١) محول تيار حلقى نسبة التحويل ٤٠٠ / ٥ أمبير ، مبين فيه مكان الحلقة التى يمر منها الكابل اى الملف الابتدائى . انتاج شركة وستنجهاوس .

٢- محول تيار من النوع ذى القضيب *Bar-Type C.T*

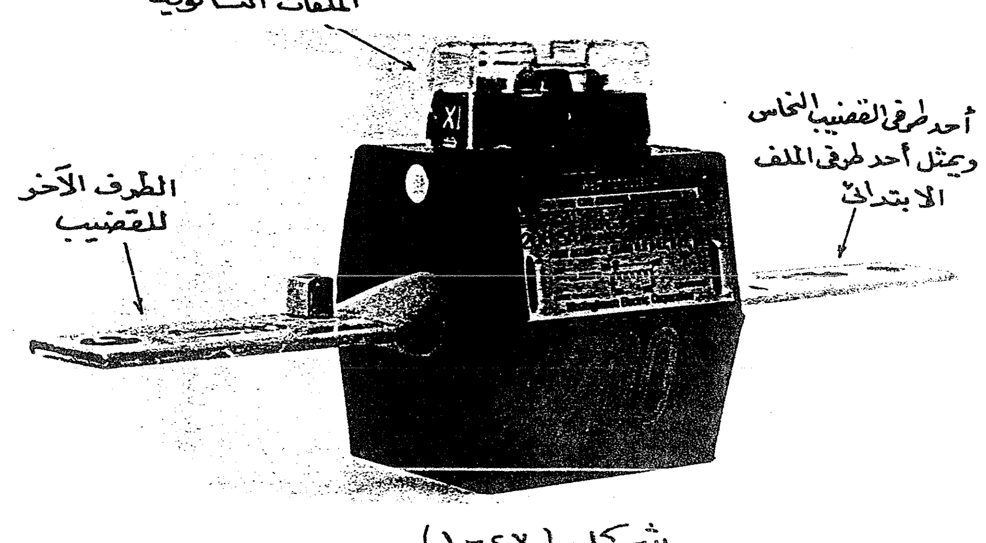
يحتوى هذا النوع على قضيب نحاس مصمت يمثل الملف الابتدائى لمحول التيار ، ويتم توصيله على التوالى مع الكابل او الخط المراد تركيب محول التيار عليه ، ويوضح شكل (٢٧-١) محول تيار من النوع ذى القلب ، ونسبة التحويل ٢٠٠/٥ امبير من انتاج شركة وستنجهاوس وتستخدم راتنجات مصبوبة *(Cast Resin)* فى عزل محولات التيار من النوع الحلقى والنوع ذى القضيب حيث تغمس فيها الملفات والقلب ، بينما يكون العزل الخارجى من مادة البورسلين ويملاء الفراغ بين الراتنجات والبورسلين بمادة بلاستيكية رغوية .

٣- محولات تيار من النوع الملفوف *Wound-Type C.T*

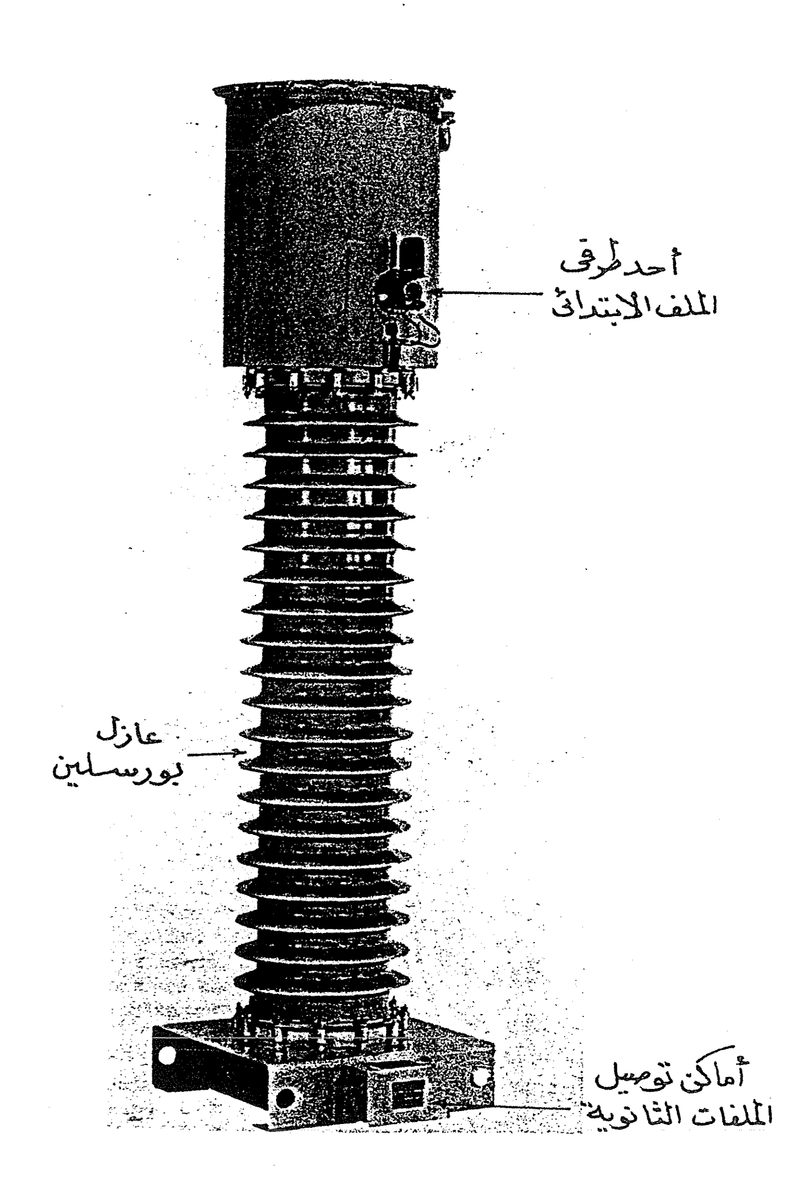
يتكون هذا المحول من قلب مصنوع من شرائح رقيقة من الحديد ، وملف ابتدائى وملف ثانوى ، وغالباً يكون الملف الابتدائى عبارة عن لفة او اكثر من موصل نحاس ذات مقطع كبير ، ويتصل على التوالى مع الخط او الكابل المراد تركيب محول التيار عليه ، يوضح شكل (٢٨-١) محول تيار من النوع الملفوف يستخدم للجهود الفائقة (٢٣٠ ك.ف) ويكون المحول مملوء بزيت عزل تحت ضغط تفريغ *(Under vacuum insulation oil)* ويحتوى على مبين مستوى الزيت . اما العزل الخارجى فيكون من البورسلين .



شكل (٢٦-١)



شكل (٢٧-١)


أحد طرفى
الملف الابتدائى
عازل
بورسلين
أماكن توصيل
الملفات الثانويه

شكل (٨-٢-١)

٢ - محولات الجهد Voltage Transformers (VT) or Potential Transformers (PT)

تستخدم محولات الجهد للحصول على قيمة جهد منخفضه ، عادة ١٠٠ ڤولت ، لتغذية دوائر الوقاية والقياس والتحكم ، والتى تحتاج جهد لتشغيلها .

ويوجد نوعان اساسيان من محولات الجهد ، هما المحول التقليدى وهو مايطلق عليه محول جهد مغناطيسى وتجاوزاً يقال عنه محول الجهد ويرمز له بالرموز (VT) او (PT)، ومحول الجهد ذو مكثف ويرمز له بالرموز (CVT) .

التعريفات الاساسية لمحولات الجهد :

١- الجهد الابتدائى المقنن The rated primary voltage

هو جهد الملف الابتدائى ويرمز له (V_1) او (V_p) بوحدات الڤولت او الكيلوڤولت.

٢ - الجهد الثانوى المقنن The rated secondary voltage

هو جهد الملف الثانوى الناتج من تسليط الجهد الابتدائى المقنن على الملف الابتدائى، ويرمز له بالرمز V_2 او V_s بوحدات الڤولت (مثلاً ١٠٠ ڤولت)

٣ - نسبة التحويل Turns ratio

هى النسبة بين $\frac{V_1}{V_2}$ او $\frac{V_p}{V_s}$ او النسبــة بين ملفــات الملف الابتدائى N_p وملفــات الملـف الثانوى N_s اى $\frac{N_p}{N_s}$ امثلة لذلك

محول جهد احادى الوجه : $\frac{١١٠٠٠}{\sqrt{٣}} / \frac{١٠٠}{\sqrt{٣}}$ ڤولت

محول جهد ثنائى الاوجه : ١١٠٠٠ / ١٠٠ ڤولت

٤- عبء المحول *Burden*

هى القيمة المكافئة لمقاومة الملفات المتصلة على التوازى مع الملف الثانوى ، بوحدات الڤولت أمبير. لو فرضنا ان V_s هو الجهد الثانوى المقنن ، P هو عبء محول الجهد بالڤولت - امبير فان معاوقة الحمل Z_b تكون :

$$Z_b = \frac{V_s^2}{P} \quad \text{اوم}$$

ويوضح جدول (٣-١) عبء محولات الجهد بدلالة الجهد الابتدائى المقنن .

(أقصى عبء لمحولات الجهد ذات المكثف لاتتعدى ٢٠٠ ڤولت أمبير - بينما عبء محولات الجهد من النوع الملفوف *(Wound-type)* تصل الى حوالى ٥٠٠ ڤولت أمبير) عموماً فان القيم القياسية لعبء محولات الجهد هى : ١٠ ، ٢٥ ، ٥٠ ، ٧٥ ، ١٠٠ ، ١٥٠، ٢٠٠ ، ٢٥٠ ڤولت أمبير .

جدول(٣-١)

الجهد المقنن الابتدائى ك . ف		العــبء ڤولت أمبير
بين وجهين	بين وجه والارض	
١١٥	٦٦,٥	٢٥
١٣٨	٧٩,٨	٣٥
١٦١	٩٣,١	٤٥
٢٣٠	١٣٣	٨٠
٢٨٧	١٦٦	١٠٠

امثلة لبعض قدرات أجهزة القياس والوقاية :

- ڤولتمتر ٥ڤولت أمبير

- ملف الجهد بجهاز قياس الوات (Wattmeter) ٥ ڤولت امبير
- ملف الجهد بجهاز كيلووات (Kilowatt meter) ٧,٥ ڤولت امبير
- ملف الجهد بجهاز سنكروسكوب ١٥ ڤولت امبير
- ملف الجهد بمتمم انخفاض او ارتفاع الجهد ٥ ڤولت امبير
- ملف الجهد بمتمم كهرومغناطيسى ٣ - ١٠ ڤولت امبير
- المتممات الاستاتيكية ٠,٠٢ - ٠,٢ ڤولت امبير

٥ - خطأ نسبة التحويل *The ratio error*

يعرف بانه الفرق بين نسبة التحويل الحقيقية ونسبة التحويل مع أخذ هبوط الجهد فى الاعتبار ، منسوباً الى نسبة التحويل الحقيقية كما تعرف بأنها النسبة بين الهبوط فى الجهد الى الجهد المقنن .

اذا كانت قدرة ملفات الاجهزة الموصلة على الملف الثانوى لمحول الجهد اكبر من قيمة عبء محول الجهد فان هذا يؤدى الى ارتفاع خطأ نسبة التحويل ، ولذلك يجب الاهتمام بالا تؤخذ قدرة من المحول اكبر من العبء المقنن .

٦ - الاختلاف الوجهى *The phase difference*

هى زاوية الاختلاف بين الجهد الابتدائى المقنن والجهد الثانوى المقنن .

٧ - درجة الدقة *Accuracy class*

تستخدم جداول قياسية لاعطاء معنى درجة الدقة بدلالة كل من خطأ نسبة التحويل والاختلاف الوجهى .

فمثلاً لمحولات الجهد المستخدمة لاغراض القياس فان العبء ١٠٠ ڤولت امبير والدرجة ٠,٥ هذا يعنى ان اقصى خطأ نسبة التحويل يكون ٠,٥ ٪ عند الجهد المقنن وعبء يساوى ١٠٠ ڤولت امبير ، وأقصى اختلاف وجهى يكون ٢٠ دقيقة . ودرجات الدقة القياسية لمحولات الجهد المستخدمة لاغراض القياس هى ٠,١ ، ٠,٢ ، ٠,٥ ، ١ ، ٣ بينما لمحولات الجهد المستخدمة لاغراض الوقاية فان درجة الدقة تحتوى على الرمز (p) للدلالة على استخدامه للوقاية ، وتكون حدود الدقة من ٥٪ الى ١٠٠٪ من الجهد المقنن

ودرجات الدقة القياسية هى 3p ، 6p .

فاذا كانت بيانات محول جهد هى 75VA, 3P فمعنى ذلك ان نسبة الخطأ تساوى ± ٣ ٪ من قيمة الجهد المقنن ، عند اقصى عبء (اى عند ٧٥ ڤولت امبير)ويوضح جدول (٤-١) درجات الدقة طبقاً للمواصفات القياسية IEC 186 .

جدول(٤-١)

الاستخدامات	حدود الخطأ		المــــــــدى		درجة الدقة
	الاختلاف الوجهى دقيقة	نسبة الخطأ ٪	نسبة الجهد	نسبة الحمل	
استخدامات معملية	± ٥	± ٠,١	٨٠ - ١٢٠	٢٥ - ١٠٠	٠,١
اجهزة قياس دقيقة	± ١٠	± ٠,٢	٨٠ - ١٢٠	٢٥ - ١٠٠	٠,٢
اجهزة قياس تجارية	± ٢٠	± ٠,٥	٨٠ - ١٢٠	٢٥ - ١٠٠	٠,٥
اجهزة قياس صناعية	± ٤٠	± ١	٨٠ - ١٢٠	٢٥ - ١٠٠	١
اجهزة قياسات	-	± ٣	٨٠ - ١٢٠	٢٥ - ١٠٠	٣
اجهزة وقاية	± ١٢٠	± ٣	٨٠ - ١٢٠	٢٥ - ١٠٠	3P
اجهزة وقاية	± ٢٤٠	± ٦	٨٠ - ١٢٠	٢٥ - ١٠٠	6P

٨ - حد التيار الثانوى *The secondary current limit*

(فى حالة محول جهد يحتوى على ملفين ثانويين)

هو أقصى قيمة للتيار المار بالملف الثانوى الاول عند الجهد الابتدائى المقنن بحيث يكون الملف الثانوى الآخر غير محمل ، او هو قيمة التيار المار بالملف الثانوى الثانى عند قيمة جهد تساوى ١,٩ من قيمة الجهد الابتدائى وكان الملف الثانوى الاول محمل بقيمة

العبء المقنن .

٩- الجهد المتبقى *Residual Voltage*

هو المجموع الاتجاهى للجهود بين الوجه والارض للثلاثة اوجه

$$\bar{V}_{nm} = \bar{V}_a + \bar{V}_b + \bar{V}_c$$

١٠ - عامل الجهد *Voltage Factor*

تعرف اعلى قيمة لجهد التشغيل الابتدائى بانها حاصل ضرب عامل الجهد فى الجهد الابتدائى المقنن ، فمثلاً ١,١ للتشغيل المستمر ، ١,٥ للتشغيل لمدة ٦٠ ثانية ، ١,٩ للتشغيل لمدة ٣٠ ثانية .

ويعرف عامل نسبة الجهد *(Voltage ratio factor)* [والذى يرمز له بالرموز *VRF*] من العلاقة الآتية :

$$VRF = 1 - \frac{\% R.E}{100}$$

حيث *(R.E)* هى خطأ نسبة التحويل .

محول الجهد المغناطيسى *Magnetic voltage transformer*

يتكون محول الجهد كما فى شكل (٢٩-١) من

- دائرة مغناطيسية مقفلة عبارة عن رقائق من الحديد السيليكونى .

- ملف ابتدائى يحتوى على عدد كبير من اللفات ويوصل على التوازى مع الدائرة المراد تركيب محول الجهد عليها .

- ملف ثانوى يحتوى على عدد اقل من اللفات ويوصل على التوازى بملفات الجهد بأجهزة القياس والوقاية .

يتم عزل الملف الابتدائى عن الملف الثانوى بمادة عازلة تعتمد على جهد التشغيل فكلما زاد الجهد كلما زاد عزل الملفات .

يمكن تصنيف محولات الجهد من حيث عدد الاوجه ، احادى - ثنائى - ثلاثى الاوجه ، او من حيث المادة العازلة المستخدمة : راتنجات مصبوبة - زيت - سادس فلوريد الكبريت ويوضح شكل (٣٠-١) محول جهد أحادى الوجه ، ومادة العزل المستخدمة عبارة

عـــن راتنجـــات مصبوبـــة *(Cast Resin)*، وجهـــد التشغيـل ٢٤ ك.ف إنتاج شركـــة *(A Reyrolle Co. L.)* ويوضح شكل (٣١-١) محول ثنائى الوجه ، حيث تستخدم الراتنجات المصبوبة كمادة عازلة ويستخدم للجهود المتوسطة ـ انتاج شركة وستنجهاوس.

ويوضح شكل (٣٢-١) محول ثلاثى الاوجه ، مادة العزل المستخدمة من راتنجات مصبوبة ويستخدم للجهد ٣٣ ك.ف من النوع *Plug-in* (دخول فى مقبس)

ويوضح شكل (٣٣-١) محول جهد ثلاثى الاوجه ـ مملوء بالزيت ويستخدم للجهد ١٢ ك.ف انتاج شركة جنرال الكتريك .

ويوضح شكل (٣٤-١) محول جهد احادى الوجه ـ انتاج شركة سيمنز ـ مملوء بالزيت تحت ضغط تفريغ ـ مقنناته كالآتى :

- قيمة الجهد الابتدائى المقنن : $\frac{١١٠}{\sqrt{٣}}$ ك.ف

- قيمة الجهد الثانوى المقنن : $\frac{١٠٠}{\sqrt{٣}}$ فولت ، $\frac{١٠٠}{٣}$ فولت

- العبء : ٦٠٠ ڤولت ـ امبير

- التردد: ٥٠ هرتز

محولات الجهد من النوع التعاقبى *Cascade voltage transformers*

نتيجة مشاكل العزل بمحولات الجهد المغناطيسى التقليدى وخصوصاً للجهود اعلى من ٦٦ ك.ف حيث يصبح حجمها كبيراً جداً وبالتالى تكلفتها عالية جداً ولحل هذه المشكلة اما تستخدام محولات الجهد ذى المكثف او محولات الجهد من النوع التعاقبى .

ويوضح شكل (٣٥-١) محول جهد من النوع التعاقبى يحتوى على ٦ مراحل ويتكون من عدد ثلاثة قلوب *(Cores)* ويقسم الملف الابتدائى بالتساوى على الثلاثة قلوب اما الملف الثانوى فيكون ملفوف فقط على القلب الثالث ويوجد ايضاً ملفات ربط *Coupling winding* يتم لفهم وتوصيلهم كما فى الشكل ـ وبذلك يمكن الحصول على مسار له

مصدر التغذية الرئيسى

الملف الابتدائى

دائرة مغناطيسية

الملف الثانوى

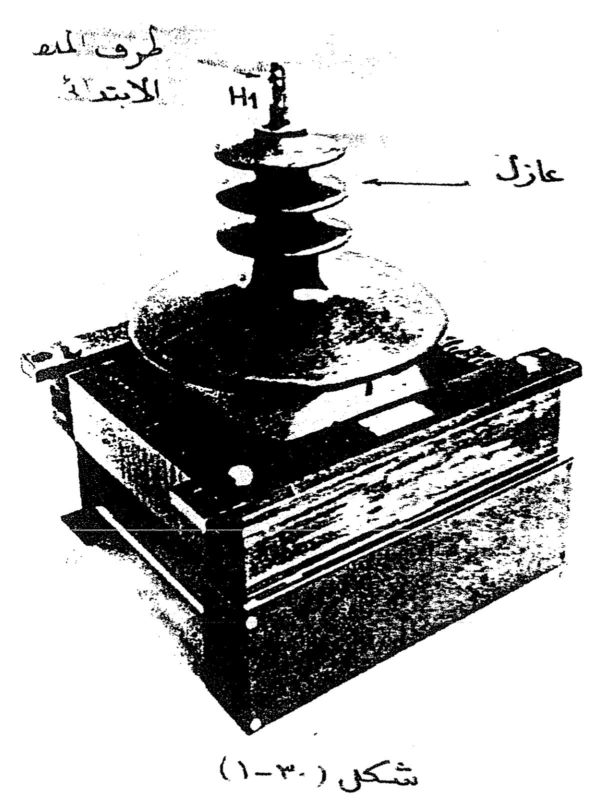
H_1 H_2 X_1 X_2

اتجاه الجهد بالملف الابتدائى

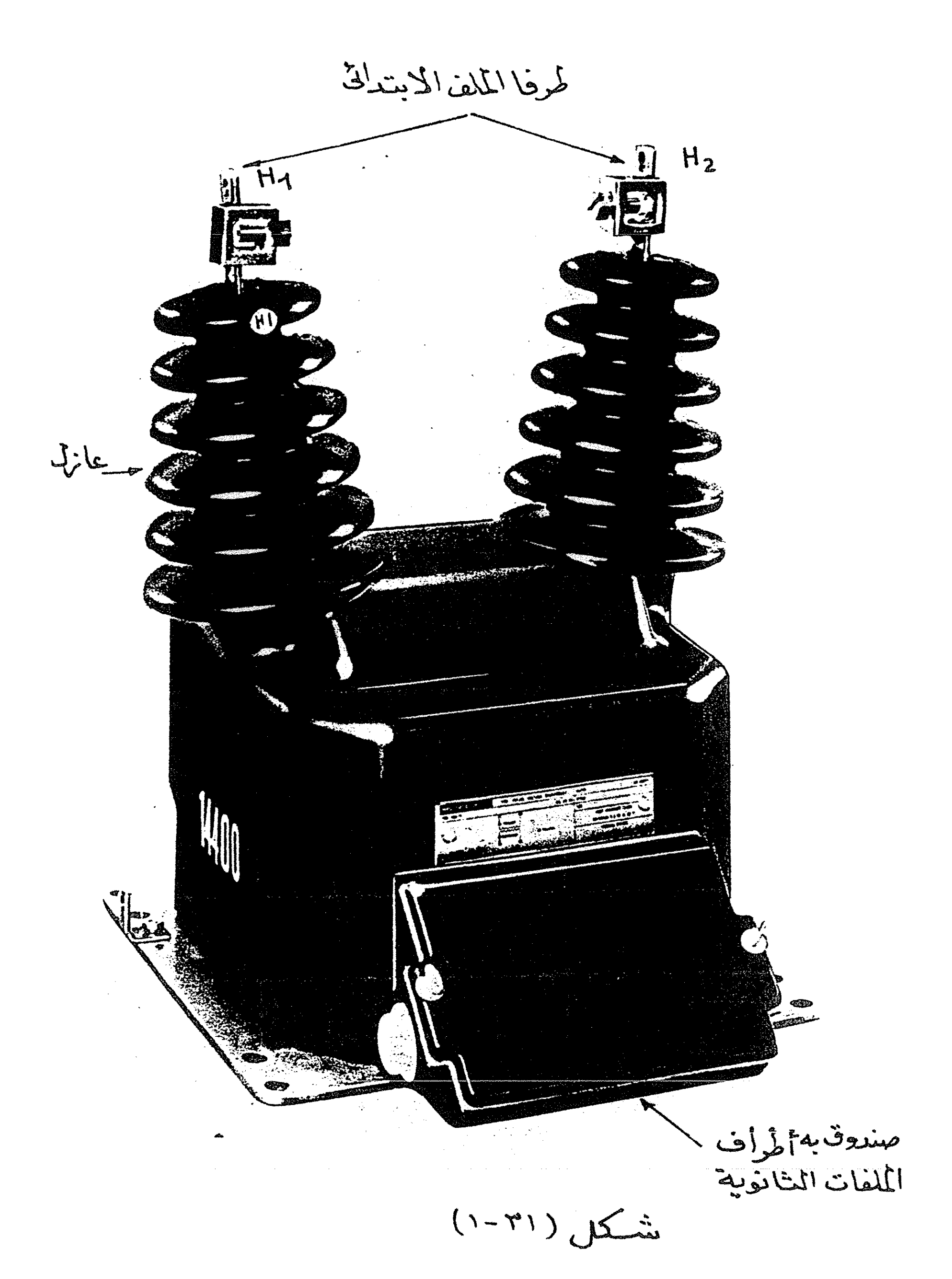
اتجاه الجهد بالملف الثانوى

إلى أجهزة القياس والوقاية

شكل (١-٢٩)

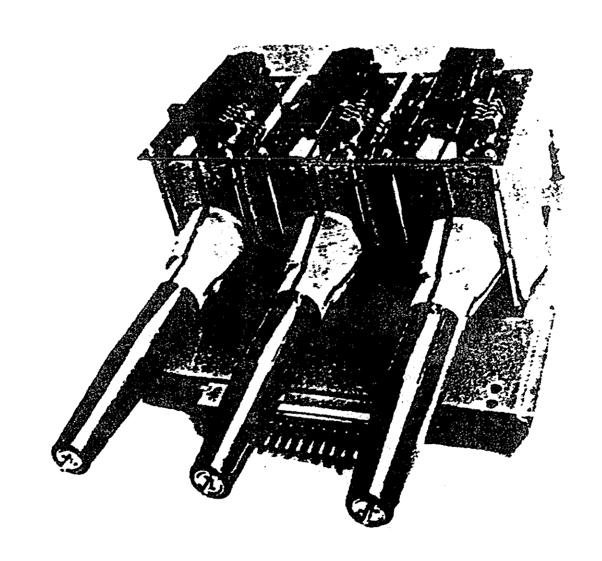


شكل (١-٣٠)

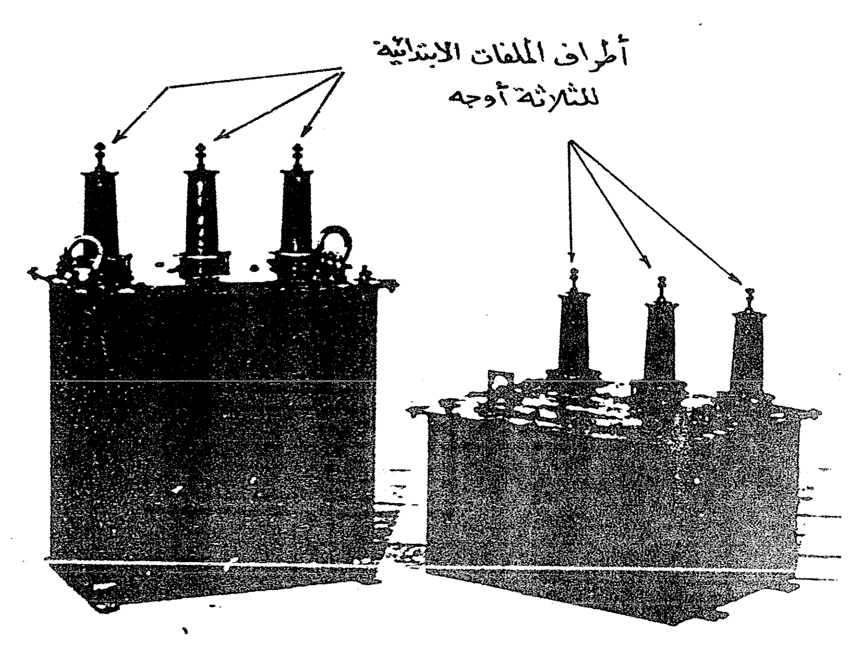


طرفا الملف الابتدائي
H_1
H_2
عازل
1400
صندوق به أطراف
الملفات الثانوية

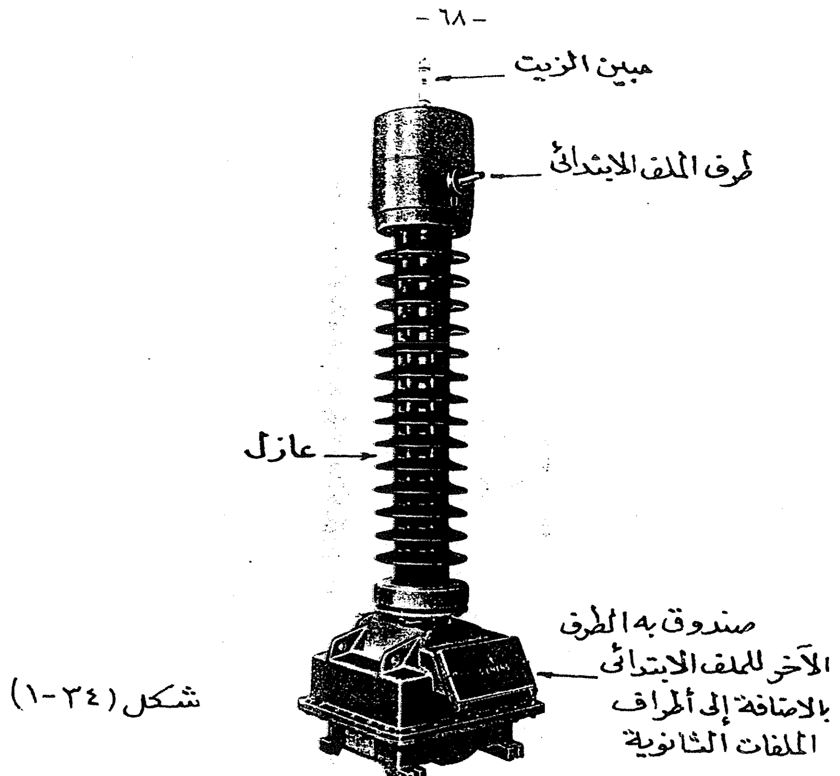
شكل (٣١-١)



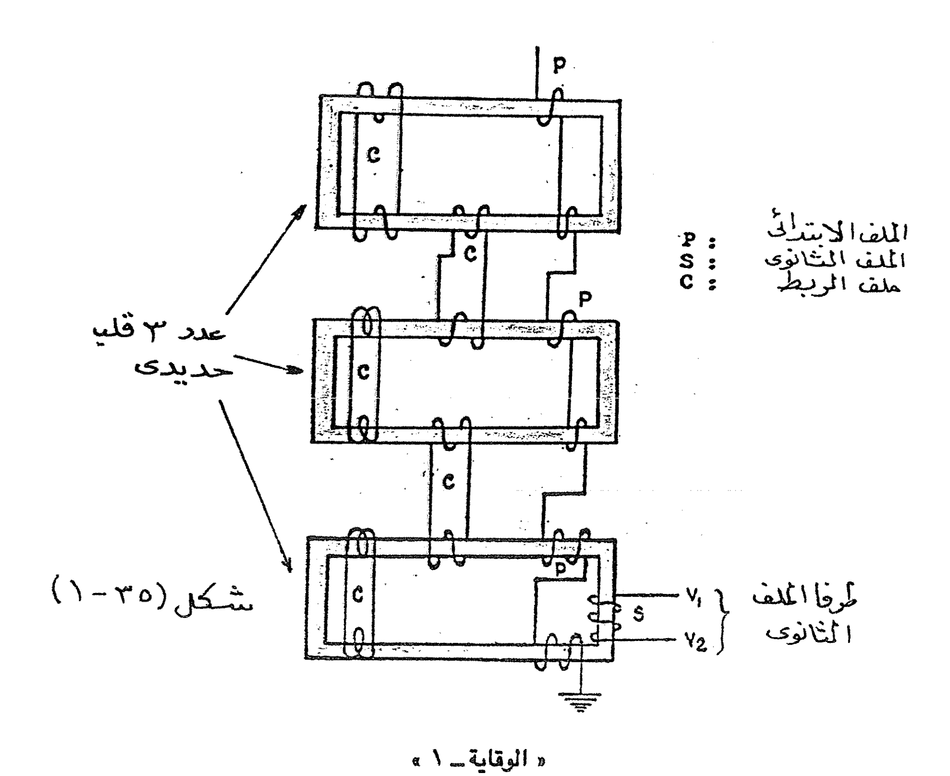
شكل (٣٢ - ١)



شكل (٣٣ - ١)



شكل (١-٣٤)



شكل (١-٣٥)

ممانعة منخفضة لمرور التيار الابتدائى والتيار الثانوى ولضمان توزيع الجهد بدقة بين المراحل .

بتوصيل ملفات متممات الوقاية على الملف الثانوى لمحول الجهد ، يمر تيار بملفات الربط لتحقيق توازن امبير - لفات لكل مرحلة ، وتصبح قيمة معاوقة التسرب (Leakage impedence)صغيرة جداً بين الملف الابتدائى والملف الثانوى .

تمتاز هذه الطريقة بتقسيم مستوى العزل الكلى على عدد المراحل المكونه للمحول اى ان :

$$\text{مستوى عزل المرحلة} = \frac{\text{جهد الخط}}{\text{٢} \times \text{عدد القلوب المستخدمة}}$$

ويكون جهد القلوب وملفات الربط ثابتة عن طريق عمل نقط تقسيم على الملفات الابتدائية .

الدائرة المكافئة لمحول اللجهد

سبق ان ذكرنا ، ان محول الجهد ، احادى الوجه ، يتكون من ملف ابتدائى ، وملف ثانوى وقلب حديدى ، ويتضح من شكل (٣٦-١) أ تمثيلاً لمحول جهد عدد لفات الملف الابتدائى N_1 ،وعدد لفات الملف الثانوى N_2 نسبة التحويل n تساوى N_1/N_2 .

فى شكل (٣٦-١) ب اضيفت المعاوقة الابتدائية Zp ، والمعاوقة الثانوية Z_s ، معاوقة دائرة الاثارة Z_e . كذلك تم توصيل الحمل Z_b على الملف الثانوى لمحول الجهد .

ويوضح شكل (٣٦-١) جـ تمثيلاً للدائرة المكافئة لمحول الجهد ، حيث نسبت القيم Zs Z_b للملف الابتدائى فاصبحت n^2Z_b, n^2Z_s، ومن هذه الدائرة يمكن رسم موجهات (Vector diagram) التيارات والجهود الثانوية والابتدائية ، كما فى شكل (٣٧-١) ومن الدائرة المكافئة للمحول تتحقق العلاقات الآتية :-

التيار الابتدائى $Ip = Io + nI_s$

الجهد الثانوى $V_s = E_s - \bar{I_s}\,(Z_s + Z_b)$

الجهد الابتدائى $Vp = Ep + Ip(Zp)$

حيث E_s الجهد الثانوى الحثى *(Induced secondary voltage)*

E_p الجهد الابتدائى الحثى *(Induced primary voltage)*

فى حالة محول الجهد المثالى فان

تيار المغنطة :

$$I_o = 0$$

$$I_p Z_p = 0$$

$$\frac{V_p}{V_s} = n$$

بينما لمحول الجهد العادى (غير المثالى) فان الهبوط فى الجهد الابتدائى Vp، نتيجة المعاوقة Zp ، والهبوط فى الجهد الثانوى ، يحدث خطأ فى نسبة التحويل بحيث لايتحقق الشرط

$$\frac{V_p}{V_s} = n$$

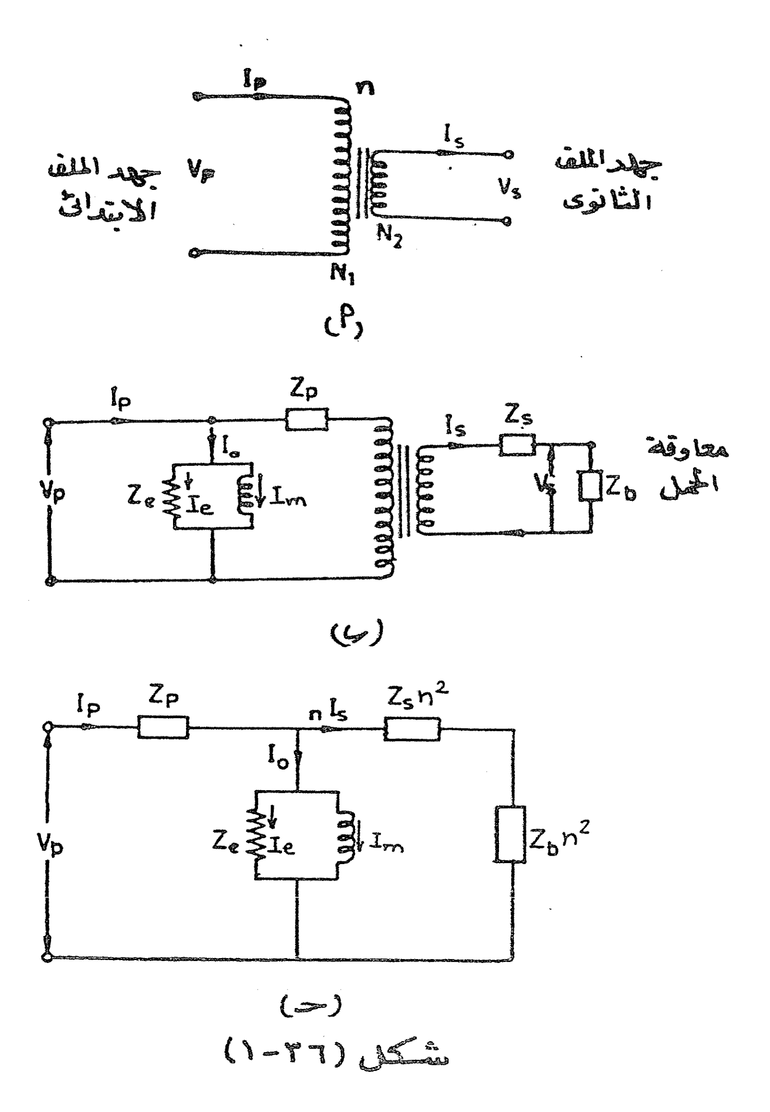
وتكون معادلة خطأ نسبة التحويل منسوبة الى الجهد الابتدائى هى :

$$\text{خطأ نسبة التحويل٪} = \frac{nV_s - V_p}{V_p} \; 100$$

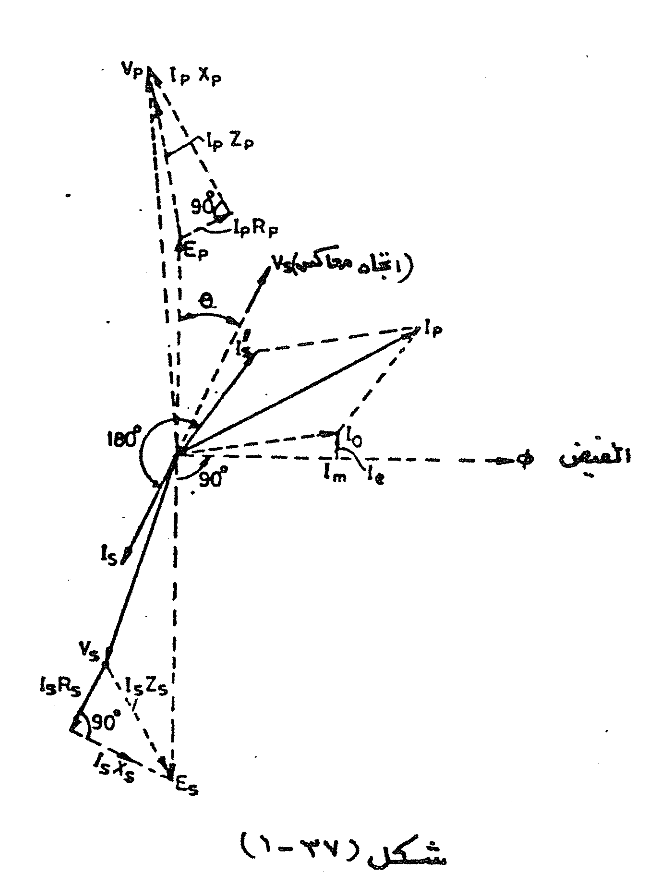
فى شكل (٣٧-١) عند عكس الجهد الثانوى V_s فانه يختلف بزاوية θ عن الجهد الابتدائى وهذا راجع الى تيار المغنطة Ie وتعرف هذة الزاوية بزاوية الخطأ لمحول الجهد.

محول الجهد ذو المكثف *Capacitor-Type voltage transformer*

عند العمل على الجهود أعلى من ٦٦ ك.ف يصبح استخدام محولات الجهد المغناطيسية (التقليدية) مكلفاً جداً ، كما ان حجمه كبيراً جداً ، ولما كانت الجهود العالية تحتاج الى عزل مناسب ، جاء التفكير فى استخدام البديل وهو عبارة عن محولات الجهد ذات المكثفات والتى يمكن من خلالها تخفيض قيمة الجهد الابتدائى لقيمة معينة ، غالباً ١١ ك.ف ، ثم يستخدم محول جهد مغناطيسى لتخفيض هذه القيمة الى القيمة القياسية لدوائر الوقاية والقياس وهى ١٠٠ ڤولت .


Ip
n
Is
جهد الملف الابتدائى
Vp
Vs
جهد الملف الثانوى
N2
N1
(أ)
Ip
Zp
Is
Zs
Io
Ze
Ie
Im
Vs
Zb
معاوقة الحمل
Vp
(ب)
Ip
Zp
n Is
Zs n2
Io
Ze
Ie
Im
Zb n2
Vp
(حـ)

شكل (٣٦-١)



Vp
Ip Xp
Ip Zp
90°
IpRp
Ep
Vs(اتجاه معاكس)
θ
Ip
Is
180°
Io
الفيض ϕ
Im
Ie
90°
Is
Vs
IsRs
IsZs
90°
IsXs
Es

شكل (٣٧-١)

ويتكون المكثف ببساطة من مجموعة من وحدات مكثفات متصلة على التوالى ، كل وحدة تتكون من رقائق معدنية من الالمونيوم *(Aluminium foil)* وورق مشبع بالزيت *Oil impregnated paper* ، كمادة عازلة ، ترص وتربط باحكام باستخدام مادة عازلة . وتوضع جميعها فى جسم العزل الخارجى المصنوع من البورسلين ويملاء بزيت تحت ضغط تفريغ *(Vacuum)*.

يتم توصيل هذا النوع من محولات الجهد بين الخط والارضى ، ولذلك يزود جسم المحول الخارجى بمكان تأريض خارجى . يتم توصيله بالارضى ، كما يحتوى على اماكن خروج الملفات الثانوية والتى عن طريقها يتم التوصيل مع ملفات اجهزة الوقاية والقياس.

يوجد نوعان من محولات الجهد ذى المكثف هما :

- محول جهد ذو مكثف ربط *Coupling-capacitor V.T*
- محول جهد ذو مكثف وصلة *Bushing C.V.T.*

ويتشابة النوعان فى الفكرة الاساسية ولكن الاختلاف الاساسى فى نوع مقسم الجهد السعوى *Capacitance voltage divider* المستخدم ، والذى بالتالى يؤثر فى قيمة عبء المحول . ويتكون محول الجهد ذو مكثف الربط من وحدات من المكثفات المتصلة على التوالى بالاضافة الى مكثف مساعد كما فى الشكل رقم (٣٨-١) أ .

بينما يوضح شكل (٣٨-١) ب محول جهد وصلة والذى يستخدم لاغراض خاصة ، ومن أمثلة ذلك استخدامه مع قواطع التيار ومحولات القدره ويسمى النوعان السابقان احياناً بنبائط الرنين *Resonant devices* .

ويوضح شكل (٣٩-١) الشكل التفصيلى لاى من النوعين السابقين حيث تم توصيل محول جهد تقليدى بين نقطة التقسيم *(Tap)* والارضى ، ويحتوى هذا المحول على ملفين ثانويين هما$(X_1\text{-}X_3 , X_2\text{-}X_3)$ ، $(Y_1\text{-}Y_3, Y_2\text{-}Y_3)$ واللذان يوصلان على ملفات متممات الوقاية حسب الغرض . الدائرة المكافئة لهذا النوع موضحة فى شكل (٤٠-١) حيث X_L تمثل ممانعة رنين *(Tuneing reactance)* يمكن ان تضبط بحيث يكون الجهد V_B فى اتفاق وجهى *(In phase)* مع الجهد الابتدائى Vp. كما تمثل معاوقة الملفات المتصلة على التوازى مع الملف الثانوى بمقاومة R ، اما المكثف المساعد

فيستخدم لتحسين معامل القدرة للاحمال ويجب ملاحظة تحقق العلاقة الآتية :

$$X_L = \frac{X_{c1} X_{c2}}{X_{c1} + X_{c2}}$$

ومن هذه المعادلة جاءت تسمية هذه الانواع بأنها نبائط رنين .

وفى الواقع ان قيمة X_{c2} صغيرة جداً بالمقارنة بقيمة X_{c1} وعلى ذلك فإن X_L تساوى تقريباً X_{c2} . أن قيمة سعوية المكثف الاساسى C_1 ، فى حالة محول جهد ذو مكثف الربط (والذى يتكون من مجموعة من المكثفات متصلة على التوالى كما فى شكل (٤١-١)) ، تتناسب مع الجهد الابتدائى المقنن لمصدر التغذية ، وعلى ذلك تعتمد قيمة سعوية المكثف C_1 (او عدد مكثفات التوالى) على قيمة جهد التغذية ، بينما تكون سعوية المكثف المساعد C_2 ثابتة ، لجميع محولات الجهد وذلك للوصول الى قيمة جهد ثابتة ، V_2 ، لجميع قيم جهد التغذية .

اما قيمة سعوية المكثفات C_1 ، فى حالة محول جهد الوصلة ، تكون تقريباً ثابتة لجميع الجهود المقننة بينما تكون قيمة سعوية المكثف C_2 متغيرة . وذلك بأستخدام مكثف مساعد ، للحصول على قيمة الجهد V_2 ثابتة لجميع الجهود المقننة لدائرة التغذية .

يستخدم محول الجهد ذو مكثف ربط لنظم تحميل الترددات العالية *(Carrier high frequency)* للخطوط الهوائية ذات الجهود الفائقة كما فى شكل (٤٢-١) ويمكن ان يركب على نظام تأريض مباشر *(Directly earthed)*، او من خلال ملف *(Choke)* ، او نظام غير مؤرض *(Unearthed)*، ويتكون المحول ببساطة من مجموعة طبقات متتالية من المكثفات بينهما ورق مشبع بالزيت كعزل ، اما العزل الخارجى فيصنع من البورسلين ، مملوء بالزيت المعدنى تحت ضغط تفريغ *(Vacuum)*.

ويستخدم للجهود ١٥٠ ، ٢٢٠ ك.ف وتكون سعة المكثف ٤٤٠٠ او ٢٢٠٠ ميكروفاراد ويصمم أعلى جزء من المحول ليتحمل تثبيت مصيدة الخط *Line trap* على قمته.ويوضح شكل (٤٣-١) محول جهد ذو مكثف ، يحتوى على مقسم جهد سعوى ، عبارة عن مجموعة مكثفات ، ومحول جهد تقليدى ، وملف رنين ، والمحول مملوء بالزيت المعدنى ، تحت ضغط تفريغ والذى يعتبر كعزل . مقننات المحول كالآتى :

قيمة الجهد الابتدائى المقنن : ١٥٠ / $\sqrt{3}$ ك.ف التردد ٥٠ هرتز

قيمة الجهد الثانوى المقنن : ١٠٠ / √٣ ، ١٠٠ / ٣ ڤولت

عبء المحول : ١٥٠ ڤولت امبير .

نحصل على القيم القياسية المقننه لعبئ المحول ودرجة الدقة لمحولات الجهد ذات المكثف من الجداول الآتية :

يوضح جدول (٥-١) قيم العبء المقنن للمحول بدلالة الجهد المقنن لمصدر التغذية

ويوضح جدول (٦-١) القيم القياسية لخطأ التحويل وخطأ زاوية الازاحة بدلالة الجهد الابتدائى كنسبة من جهد النظام .

ويوضح جدول (٧-١) القيم القياسية لنسبة خطأ التحويل وخطأ زاوية الازاحة بدلالة عبئ المحول كنسبة من العبئ المقنن

قيمة مخرج العبء المقنن لمحول الجهد ذى المكثف

يتحدد أقصى عبء يمكن الحصول عليه من محول الجهد من حدود التردد الذى يعمل عنده ، والذى يحافظ على درجة الدقة للمحول . ويكون التغيير فى الخطأ مصحوباً بالتغيير فى التردد ، فيغير الزاوية عندما يكون معامل قدرة الحمل يساوى الوحدة .

ويمكن الحصول على عبء المخرج من العلاقة الآتية :

$$W = K\,(C_1 + C_2)\,V_2^{\,2}\,G_c$$

حيث :

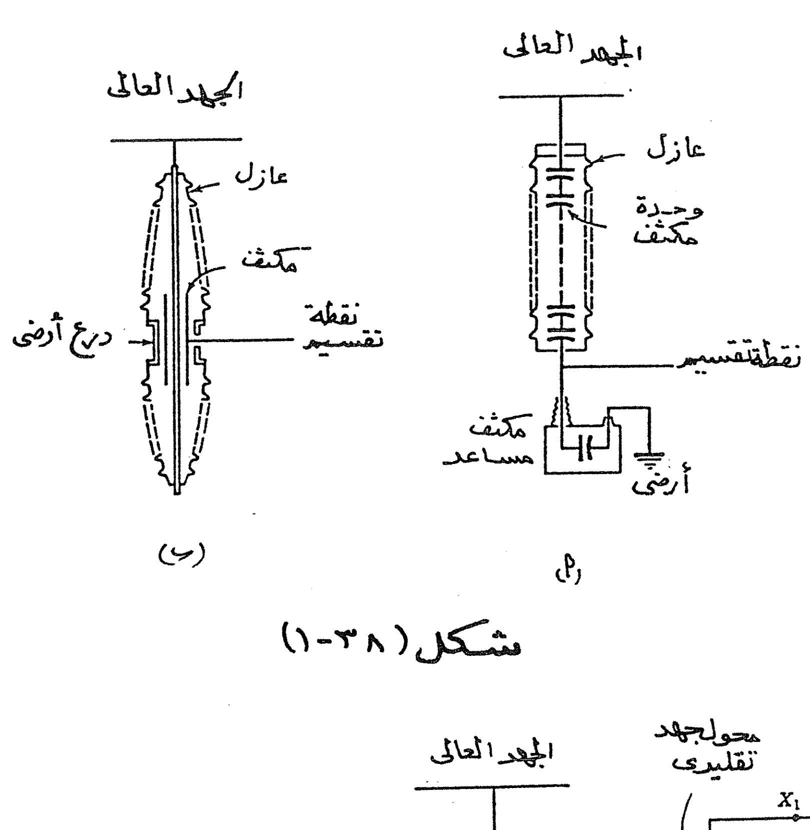
W = عبء المخرج (ڤولت امبير)

K = ثابت يعتمد على التردد ، المفقودات

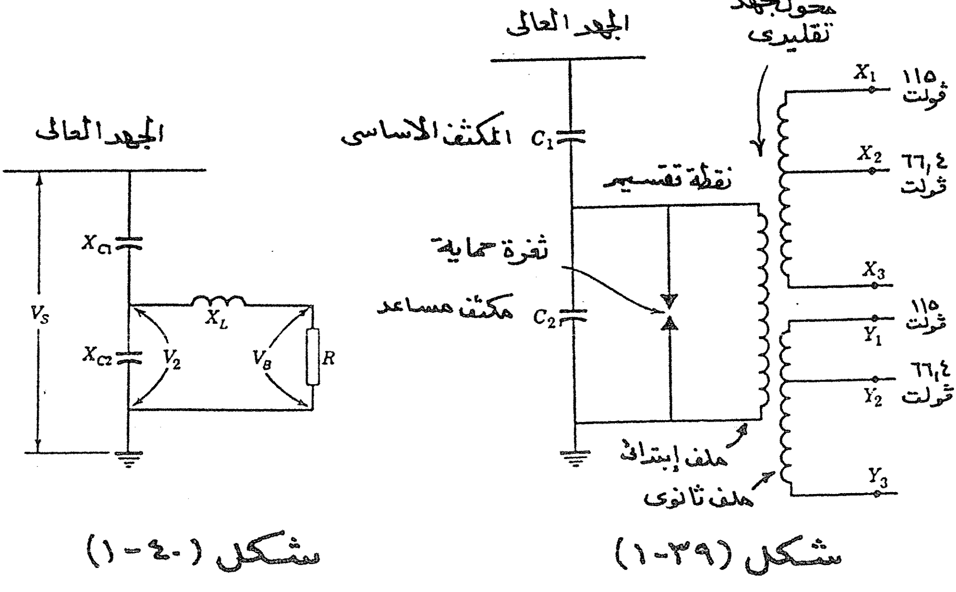
V_2 = جهد نقطة التقسيم (ڤولت)

θ_c = زاوية الخطأ (درجة / هرتز)

C_1, C_2 = سعة المكثف الابتدائى والمساعد (فاراد)

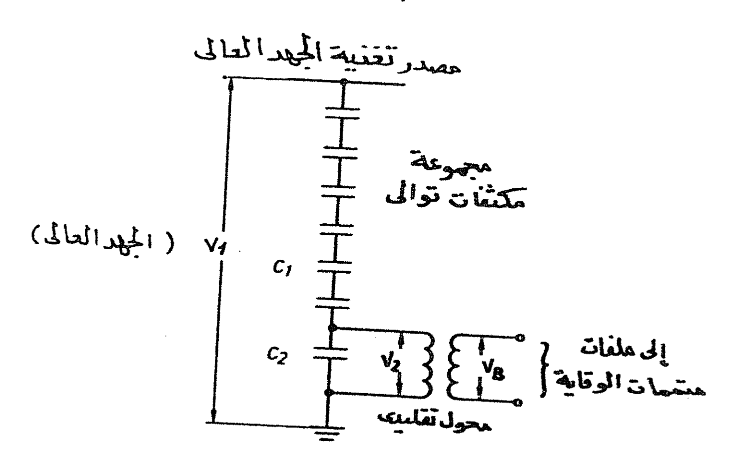


شكل (٣٨-١)

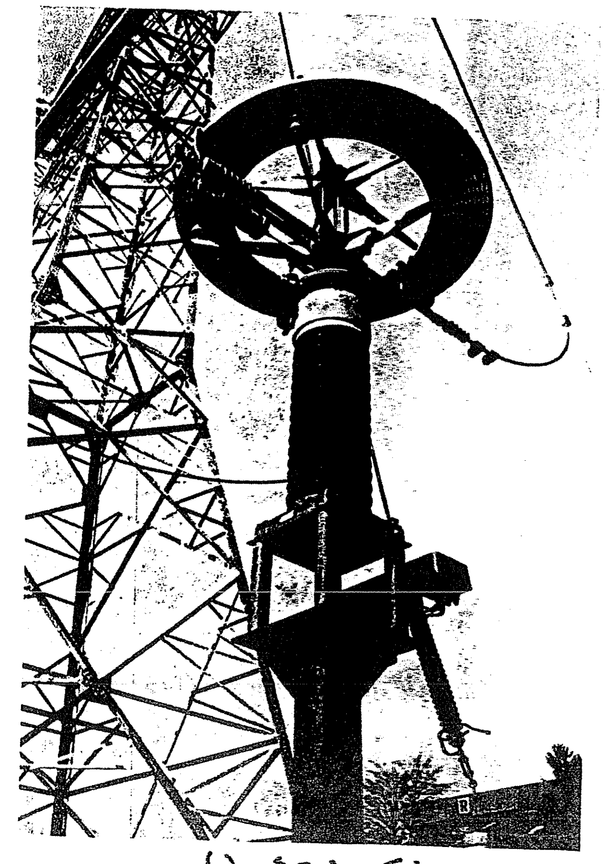


شكل (٣٩-١)

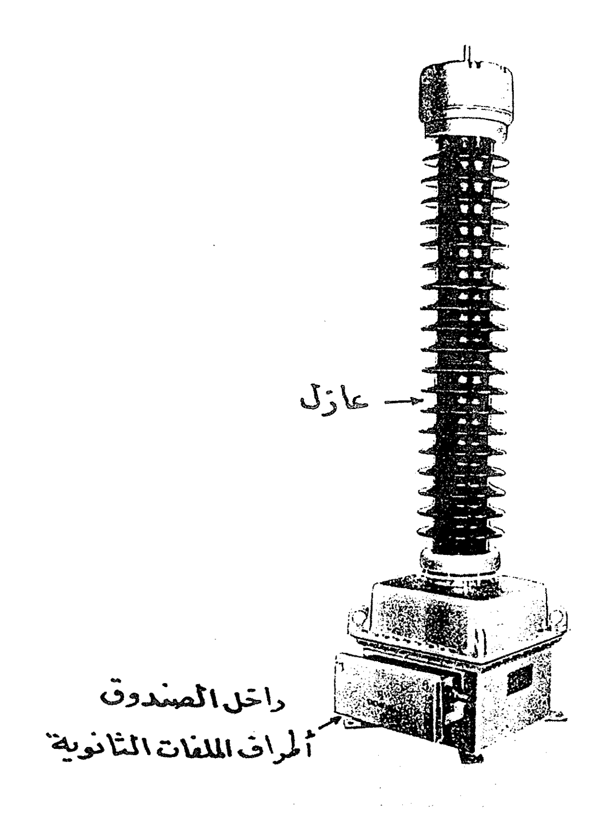
شكل (٤٠-١)



شكل (٤١ - ١)



شكل (٤٢ - ١)



شكل (٣٤ - ١)

جدول (٥ - ١)

قيمة الجهد المقنن الابتدائى لمصدر التغذية ك.ف		العبء المقنن وات
بين وجه ووجه	بين وجه و الارض	
١١٥	٦٦,٤	٢٥
١٣٨	٧٩,٧	٣٥
١٦١	٩٣	٤٥
٢٣٠	١٣٣	٨٠
٢٨٧	١٦٦	١٠٠

جدول (٦ - ١)

الجهد الابتدائى كنسبة من الجهد المقنن	خطأ نسبة التحويل	خطأ زاوية الازاحة درجــــة
١٠٠	±١	±١
٢٥	±٣	±٣
٥	±٥	±٥

جدول (٧ - ١)

العبء كنسبة من العبء المقنن	خطأ نسبة التحويل	خطأ زاوية الازاحة درجــــة
١٠٠	±١	±١
٥٠	±٦	±٤
٠,٠	±١٢	±٨

طرق تمثيل محولات الجهد (Symbole)

يمكن تصنيف محولات الجهد كالآتى :

١ - محول جهد أحادى الوجه مكون من ملف ابتدائى وملف ثانوى . ويمثل كما فى شكل (٤٤-١) أ . ويرمز عادة للملف الابتدائى بالرموز H_1 ، H_2 (تبعاً للنظام الامريكى) ، وبالرموز A,X (تبعاً للنظام الروسى) . ويرمز للملف الثانوى بالرموز X_1,X_2 (تبعاً للنظام الامريكى ، وبالرموز x ، a (تبعاً للنظام الروسى).

٢ - محول جهد احادى الوجه مكون من ملف ابتدائى وملفين ثانويين . ويمثل كما فى شكل (٤٤-١) ب وتستخدم نفس الرموز كما فى الحالة السابقة ، بالاضافة الى رموز الملف الثانوى الثانى حيث يرمز لـه بالرموز Y_1,Y_2 (تبعاً للنظـام الامريكى) ، وبالرمـوز e,u (تبعاً للنظام الروسى) .

٣ - محول جهد ثنائى الوجه مكون من ملف ابتدائى وملف ثانوى ويمثل كما فى شكل (٤٤-١) أ ايضاً .

٤ - محول جهد ثنائى الوجه يتكون من ملف ابتدائى وملفين ثانويين ويمكن تمثيله كما فى شكل (٤٤-١) ب ايضاً .

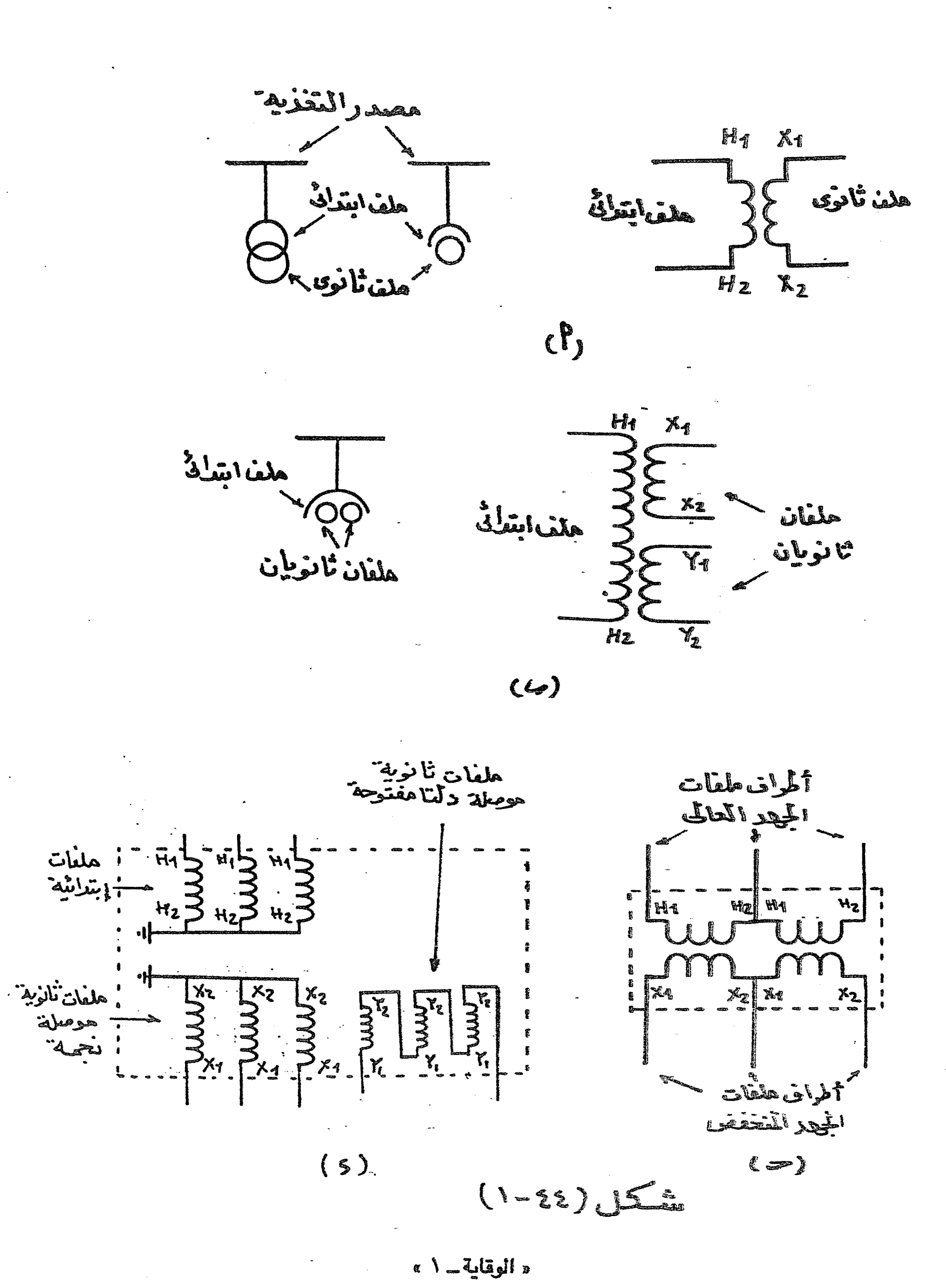
٥ - يمكن توصيل محولين جهد ثنائى الوجه ذى ملف ثانوى واحد - للتوصيل على نظام ثلاثى الاوجه ، كما فى شكل (٤٤-١) جـ .

٦ - يمكن توصيل ثلاثة محولات جهد احادية الوجه يحتوى كل منهم على ملفين ثانويين ثم توصيل الملفات الابتدائية على شكل نجمة مؤرضة ، وتوصيل احد الملفات الثانوية على شكل نجمة مؤرضة ، وتوصيل الملفات الثانوية الاخرى على شكل دلتا مفتوحة كما فى شكل (٤٤-١) ء .

تكتب نسبة التحويل حسب نوع المحول فمثلاً :

- نسبـــة التحويـــل لمحـــول احادى الوجـــه يحتوى علـــى ملف ثانوى واحد (١١٠٠٠/$\sqrt{٣}$) / (١٠٠/$\sqrt{٣}$) فولت يتم توصيله فى نظام ثلاثى الاوجه بين وجه والارضى .

- نسبة التحويل لمحول احادى الوجه يحتوى على ملفين ثانويين



مصدر التغذية
ملف ابتدائى
ملف ثانوى
H_1 X_1
H_2 X_2
(أ)
ملف ابتدائى
ملفان ثانويان
Y_1 Y_2
(ب)
ملفات ثانوية موصلة دلتا مفتوحة
ملفات إبتدائية
ملفات ثانوية موصلة نجمة
(د)
أطراف ملفات الجهد العالى
أطراف ملفات الجهد المنخفض
(جـ)

شكل (٤٤-١)

$\frac{11000}{\sqrt{3}}$ / $\frac{100}{\sqrt{3}}$ / $\frac{100}{3}$ ڤولت

- نسبة التحويل لمحول ثنائى الوجه يحتوى على ملف ثانوى واحد ١١٠٠٠ / ١٠٠ ڤولت

الطرق المختلفة لتوصيل محولات الجهد

يوضح شكل (٤٥-١) أ ثلاثة محولات جهد يحتوى كل منها على ملف ابتدائى ، ويرمز بالرمز H_1 لقطبية الملف الابتدائى ، وبالرمز X_1 لقطبية الملف الثانوى ، أو يمكن اعتبار محول جهد نو ثلاثة اوجه اطرافه الابتدائية هى H_1,H_2,H_3 واطرافه الثانوية هى X_1,X_2,X_3 وفيما يلى طرق توصيلهم المختلفة للحصول على نظام ثلاثى الاوجه :

- تم استخدام محولين من النوع ثنائى الوجه ، كما فى شكل (٤٥-١) ب وذلك بتوصيل H_2 للمحول الاول مع H_1 للمحول الثانى وتوصيل X_2 للمحول الاول مع X_1 للمحول الثانى وبذلك يمكن الحصول على ثلاثة اطراف للجهد العالى هم A,B,C تتغذى من نظام ثلاثى الاوجه ، بينما تمثل الاطراف a,b,c الاطراف الثانوية للثلاثة اوجه ويتم توصيلهم على أجهزة الوقاية والقياس حسب الغرض . ويكون الجهد بين كل طرفين يمثل الجهد بين خطين .

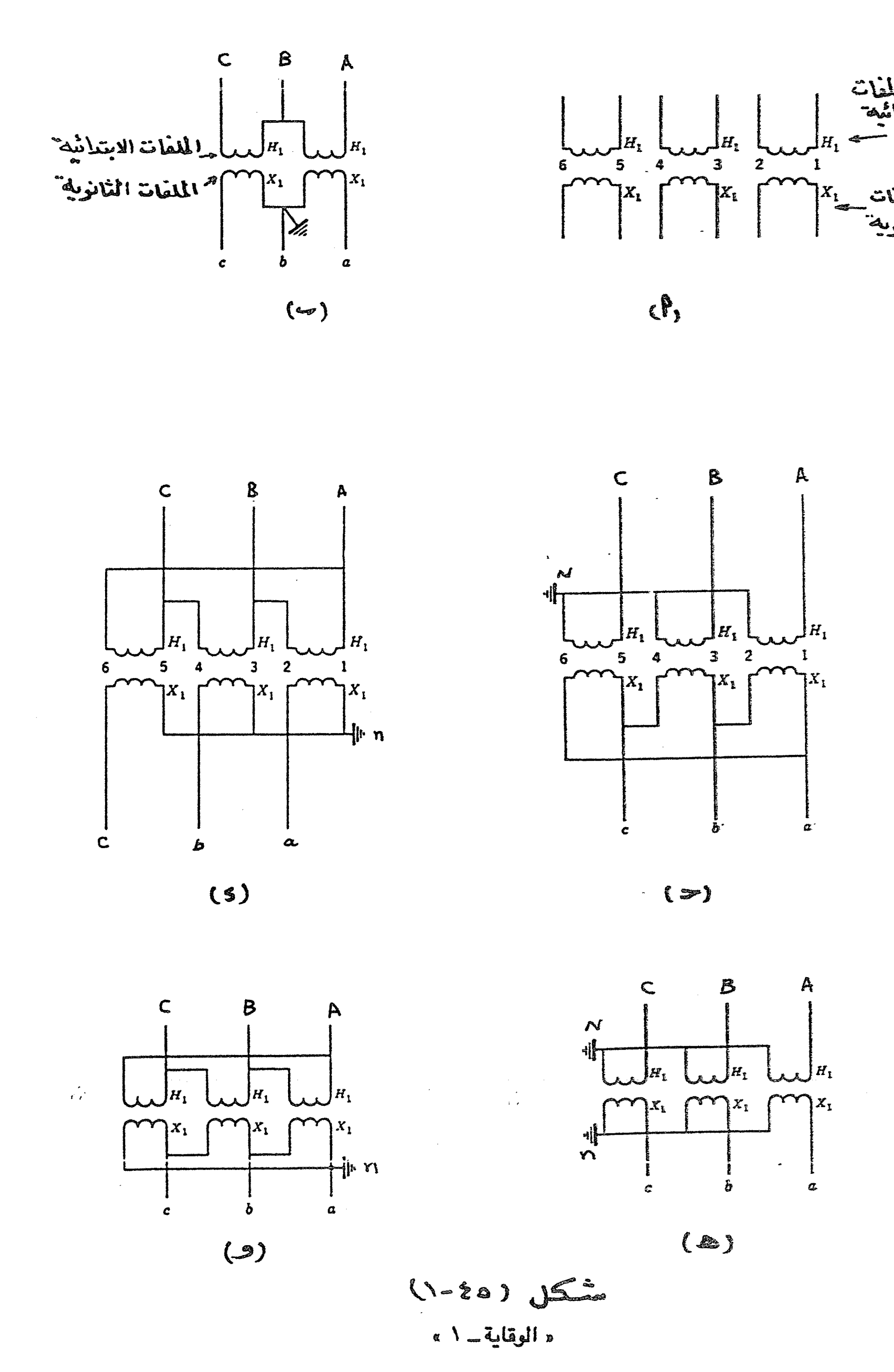
- فى شكل (٤٥-١)جـ تم توصيل الملفات الابتدائية على شكل نجمة مؤرضة اطرافها A,B,C,N بينما توصل الملفات الثانوية على شكل دلتا اطرافها a,b,c .

- فى شكل (٤٥-١) ء تم توصيل الملفات الابتدائية على شكل دلتا اطرافها A,B,C بينما توصل الملفات الثانوية على شكل نجمة مؤرضة اطرافها a,b,c,n .

- فى شكل (٤٥-١)هـ تم توصيل الملفات الابتدائية على شكل نجمة مؤرضة اطرافها A,B,C,N وكذلك توصيل الملفات الثانوية على شكل نجمة مؤرضة اطرافها a,b,c,n

- فى شكل (٤٥-١) و تم توصيل الملفات الابتدائية على شكل دلتا اطرافها A,B,C ، بينما تم توصيل الملفات الثانوية على شكل دلتا مؤرضة اطرافها a,b,c .

وسيكون لنا توضيحاً لاستخدام هذه الطرق عند معرض الحديث عن الوقاية المسافية ولكن كفكرة عن بعض التوصيلات الهامة المستخدمة لتغذية اجهزة الوقاية المسافية او



شكل (٤٥-١)

« الوقاية ـ ١ »

اجهزة الوقاية الاتجاهية نسرد بعض الامثلة الآتية :

ففى شكل (٤٦-١) أ نجد محول قدرة ذى مجموعة اتجاهية على شكل دلتا / نجمة مؤرضة ، تم توصيل محول جهد على أطرافه الثانوية ، وفى هذه الحالة يجب ان تكون التوصيلة نجمة / دلتا ، وتغذى أجهزة الوقاية المسافية على الاطراف الثانوية لمحولات الجهد. كما نجد فى شكل (٤٦-١) ب محول قدرة ذو مجموعة اتجاهية على شكل نجمة مؤرضة / دلتا تم توصيل محول جهد معه على شكل دلتا / نجمة مؤرضة ، والتى تغذى أجهزة الوقاية المسافية على الاطراف الثانوية لمحولات الجهد .

وقد نحتاج احياناً الى مجموع جهود الاوجه V_a, V_b, V_c لتغذية اجهزة الوقاية الاتجاهية فى هذه الحالة يمكن الحصول على هذا الجمع باحدى الطرق الآتية :

١ - اذا كان محول الجهد يحتوى على ملف ثانوى واحد ، فتوصل الملفات الابتدائية لمحولات الجهد على شكل نجمة مؤرضة بينما توصل الملفات الثانوية على شكل دلتا مفتوحة كما فى شكل (٤٧-١) بحيث يكون المخرج تبعاً للمعادلة الآتية :

$$V_{nm} = V_a + V_b + V_c$$

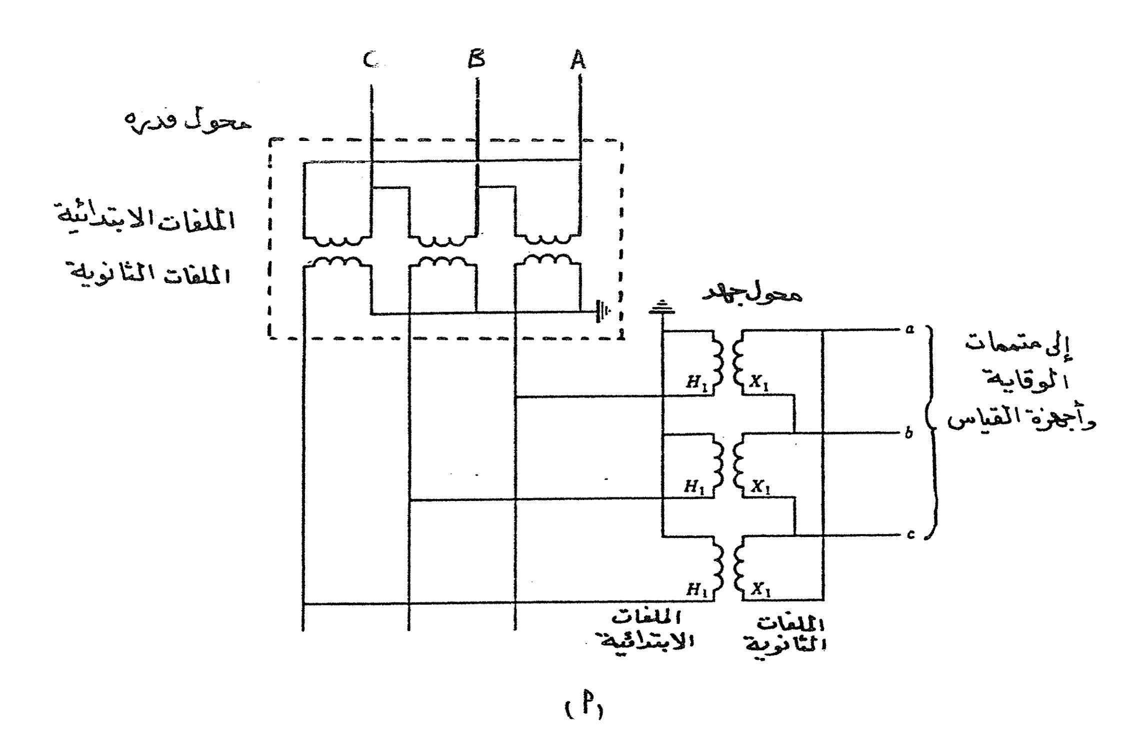
٢ - توصل محولات الجهد على شكل نجمة مؤرضة / نجمة مؤرضة كما فى شكل (٤٨-١) لتغذية أجهزة الوقاية المسافية بالجهد على الثلاثة أوجه .

وتستخدم محولات جهد مساعدة توصل نجمة مؤرضة / دلتا مفتوحة للحصول على الجهد V_{nm} كالآتى :

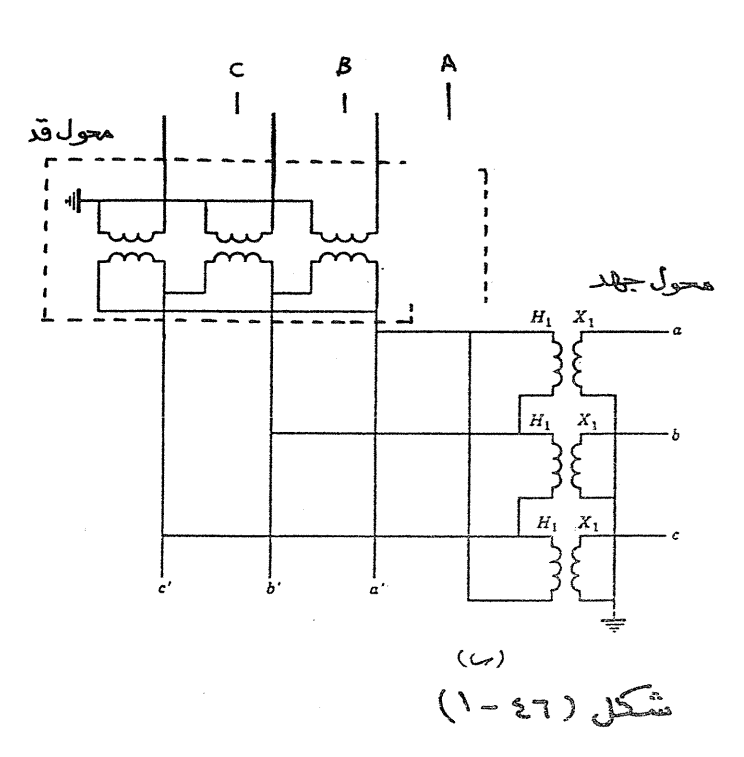
$$V_{nm} = V_a + V_b + V_c$$

٣ - اذا كان محول الجهد يحتوى على ملفين ثانويين ، فيمكن توصيله على شكل نجمة مؤرضة / نجمة مؤرضة / دلتا مفتوحة ، كما فى شكل (٤٩-١) ، فى هذه الحالة يستخدم قلب ذو خمسة من السيقان *(Limb)* ، اما ان يتم لف الملفات الابتدائية والثانوية (توصيلة نجمة) على السيقان الوسطى وملفات الدلتا على السيقان الطرفية كما فى شكل (٥٠-١) أ ، او لف الملفات الابتدائية والثانوية على السيقان الوسطى فقط كما فى شكل (٥٠-١) ب .

اما فى حالة محول جهد ذى مكثف فانه يمكن تمثيله باحدى الطرق :

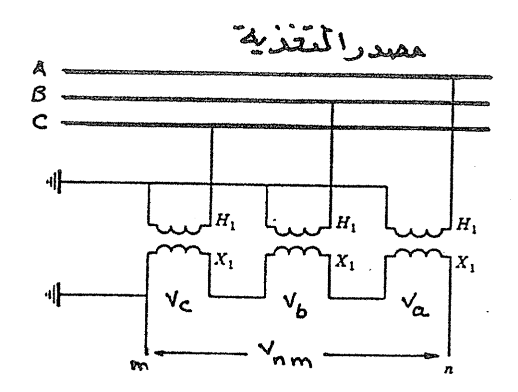

C
B
A
محول قدره
الملفات الابتدائية
الملفات الثانوية
محول جهد
H_1
X_1
H_1
X_1
H_1
X_1
a
b
c
إلى متممات
الوقاية
وأجهزة القياس
الملفات
الابتدائية
الملفات
الثانوية

(أ)

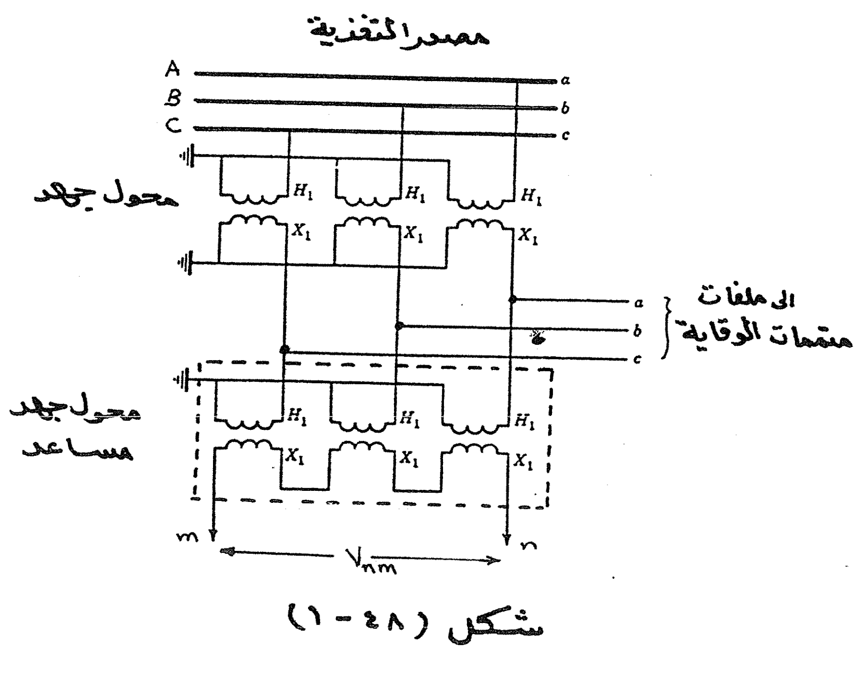

C
B
A
محول قد
محول جهد
H_1
X_1
H_1
X_1
H_1
X_1
a
b
c
c'
b'
a'

(ب)

شكل (٤٦ - ١)



شكل (٤٧-١)



شكل (٤٨-١)

١ - يوضح شكل (٥١-١) محول جهد ذو مكثف ربط *CCVT* ، يحتوى على ملفين ثانويين يستخدم احدهما لتغذية جهاز وقاية مركب للوقاية ضد اعطال الوجه ، والآخر لتغذية جهاز وقاية ضد الاعطال الارضية (الشكل يوضح التركيب على وجه واحد ويمكن تمثيل الوجهين الاخرين بنفس الطريقة) .

٢- يوضح شكل (٥٢-١) توصيلة ثلاثة مكثفات ربط ، للثلاثة اوجه ، متصلة على محول جهد تقليدى واحد ، وتستخدم هذه التوصيلة للحصول على جهد مستقطب *(Polarizing voltage)* لتغذية متممات الوقاية الاتجاهية ضد الاعطال الارضية .

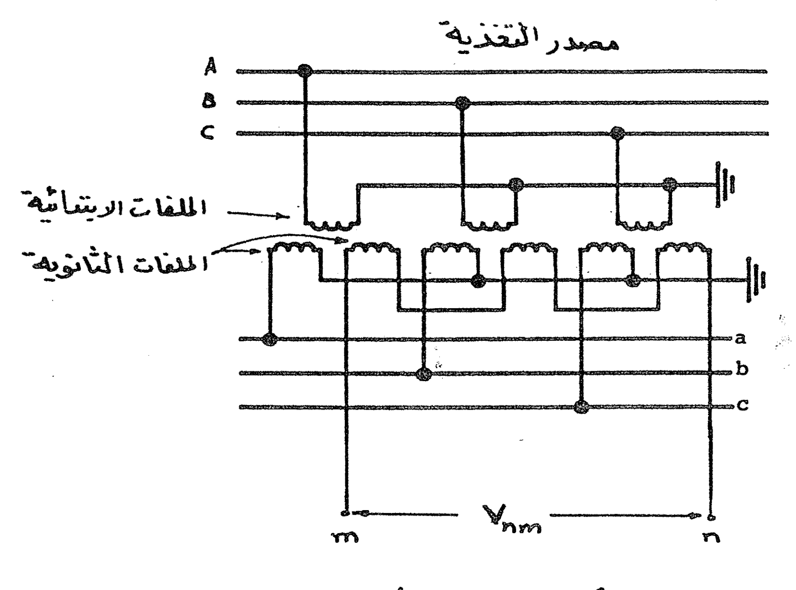
٣ - يوضح شكل (٥٣-١) توصيلة ثلاثة محولات جهد ذو مكثف وصلة *(Capacitance bushings)* متصلين مع محول جهد لتغذية اجهزة الوقاية ضد الاعطال الارضية .

وقاية محولات الجهد

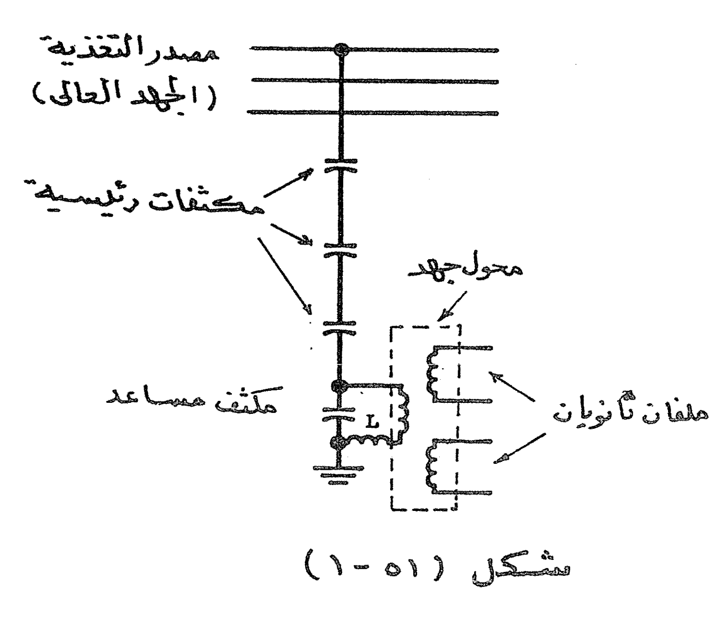
تتعرض محولات الجهد لحالات غير عادية مثال ذلك :

- حمل فجائى.
- حدوث قصر فى الملفات الثانوية .
- جهود عابرة مرتفعة .

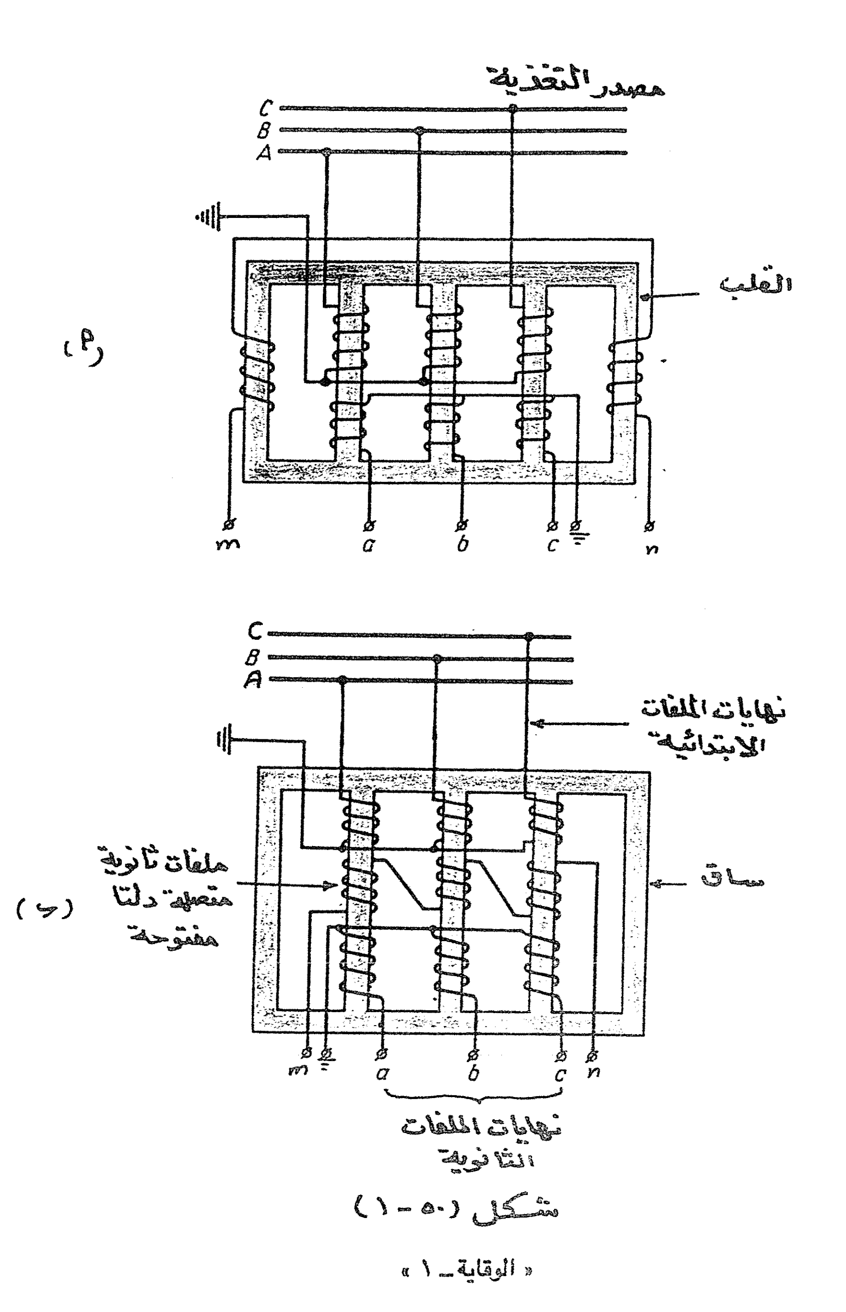
لذلك يتم عادة وقاية محولات الجهد ، ضد الحالات غير العادية ، وللجهود حتى ١١ ك.ف عن طريق مصهرات ذات سعة قطع عالية *(HRC)* ، يتم توصيلها بين مصدر التغذية (الجهد العالى) والملف الابتدائى لمحول الجهد ، كذلك يتم استخدام مصهرات. لوقاية الدوائر الثانوية المغذاه من الملف الثانوى لمحول الجهد ، ويوضح شكل (٥٤-١) التوصيلات المختلفة لمحولات الجهد واماكن تركيب المصهرات فنرى فى شكل (٥٤-١)أ محول جهد ذى توصيلة نجمة مؤرضة / دلتا مفتوحة وقد تم تركيب عدد ٣ مصهرات ذات سعة قطع عالية على اطراف الملف الابتدائى للثلاثة اوجه ، بينما تم تركيب مصهر للدوائر الثانوية ، كما يوضح شكل (٥٤-١) ب محول جهد ذى توصيله نجمة مؤرضة / نجمة مؤرضة تم تركيب مصهر لكل وجه بالملف الابتدائى والملف الثانوى .. وهكذا .



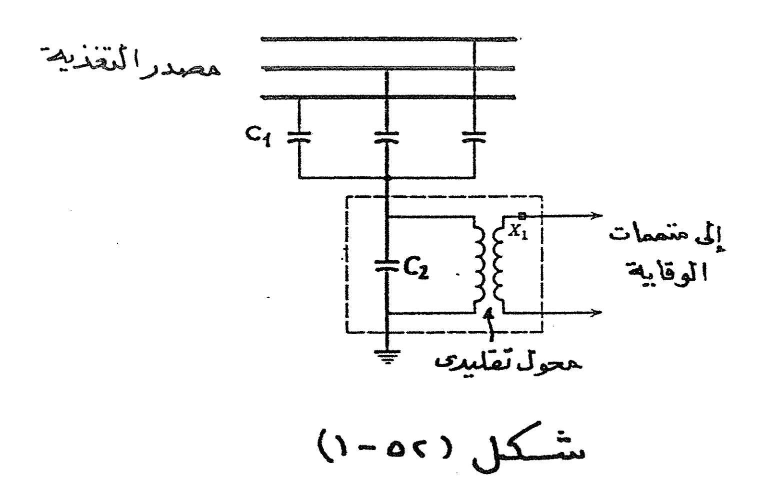
شكل (٤٩-١)



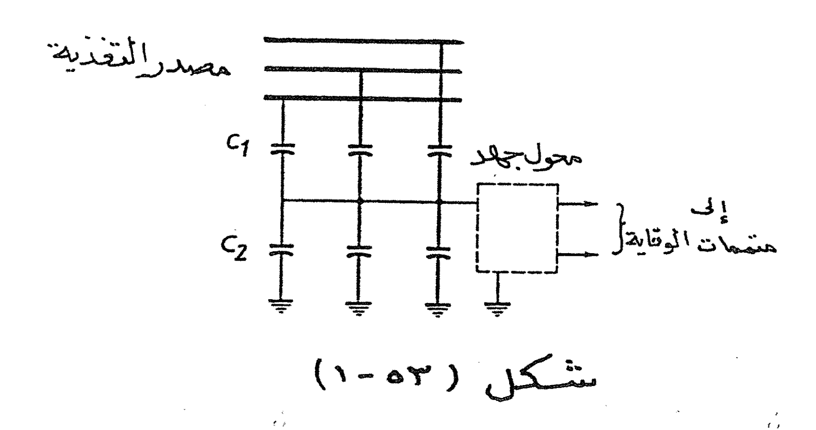
شكل (٥١-١)


مصدر التغذية
C
B
A
القلب
(أ)
m
a
b
c
n
C
B
A
نهايات الملفات الابتدائية
ملفات ثانوية متصلة دلتا مفتوحة
(ب)
ساق
m
a
b
c
n
نهايات الملفات الثانوية

شكل (٥٠ - ١)



شكل (١-٥٢)



شكل (١-٥٣)

ويوضح شكل (٥٥-١) مقطع فى محول جهد من النوع *(Plug in)* (الدخول فى مقبس) وموضحاً به تركيب مصهرات جهد عالى داخلية .

اما فى الجهود العالية (٦٦ ك.ف مثلاً) فانه يتم توصيل الملفات الابتدائية لمحولات الجهد على مصدر الجهد العالى مباشرة (قضبان رئيسية او خطوط) ، بينما تستخدم مصهرات لوقاية الدوائر الثانوية لمحولات الجهد كما فى شكل (٥٦-١) .يستخدم متمم وقاية غازية (بوخلز) أحياناً ، للجهود ١١٠ ك.ف ، ١٤٥ ك.ف لمحولات الجهد المملوءة بالزيت كمادة عازلة ، كوقاية لمحول الجهد ضد دوائر القصر الداخلية ، حيث يعطى المتمم اشارة انذار عند حدوث قصر داخلى .

ويلاحظ انه لاتضاف اية وقاية لمحولات الجهد ذات المكثف ، التى توصل مباشرة على الخط ولكن تستخدم عادة مصهرات عند نقطة التقسيم ومصهرات للدوائر الثانوية كما فى شكل(٥٧-١) .

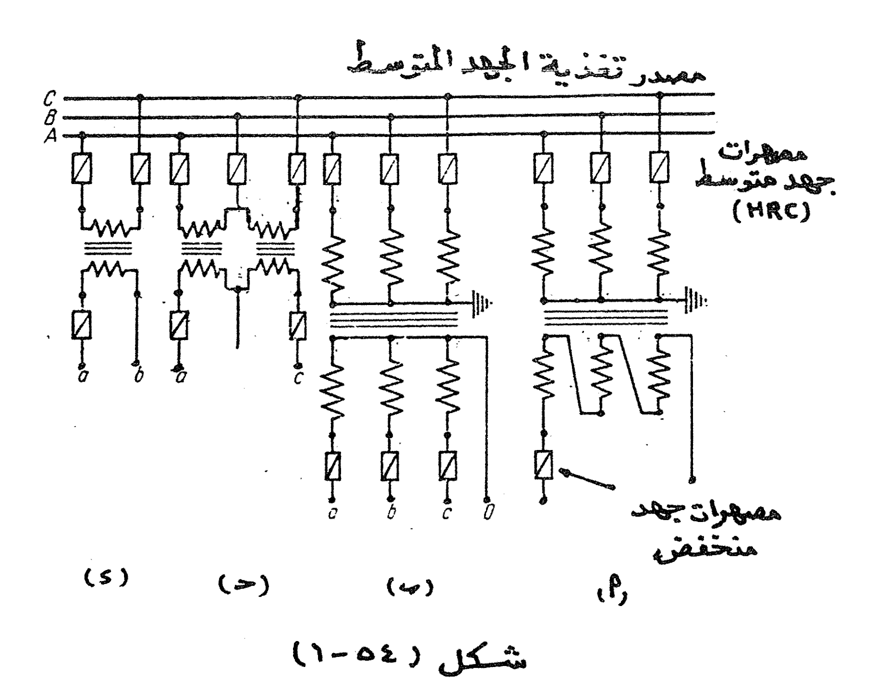
حساب مقاطع اسلاك التوصيلات الثانوية

يمكن حساب مقاطع اسلاك التوصيلات الثانوية بين الملف الثانوى لمحول الجهد وبين متممات الوقاية او القياس باستخدام النوموجرام الموضح فى شكل (٥٨-١) والذى يوضح العلاقة بين مساحة مقطع سلك نحاس (مم٢) وعبء المحول (ڤولت ـ امبير) وقيمة هبوط الجهد عند القيمتين ٠,٥ ڤولت ، ٠,١ ڤولت وذلك لمحولات جهد احادى الوجه قيمة الجهد الثانوى المقنن له تساوى ١٠٠ ڤولت ويستخدم نفس النوموجرام فى حالة استخدام محولى جهد وللحصول على توصيلة دلتا مفتوحة بسلك رجوع مشترك فيتم ضرب مساحة المقطع بالرقم ٠,٩٥ وفى حالة استخدام ثلاثة محولات جهد توصيلة نجمة يتم ضرب مساحة المقطع بالرقم ٠,٥٥

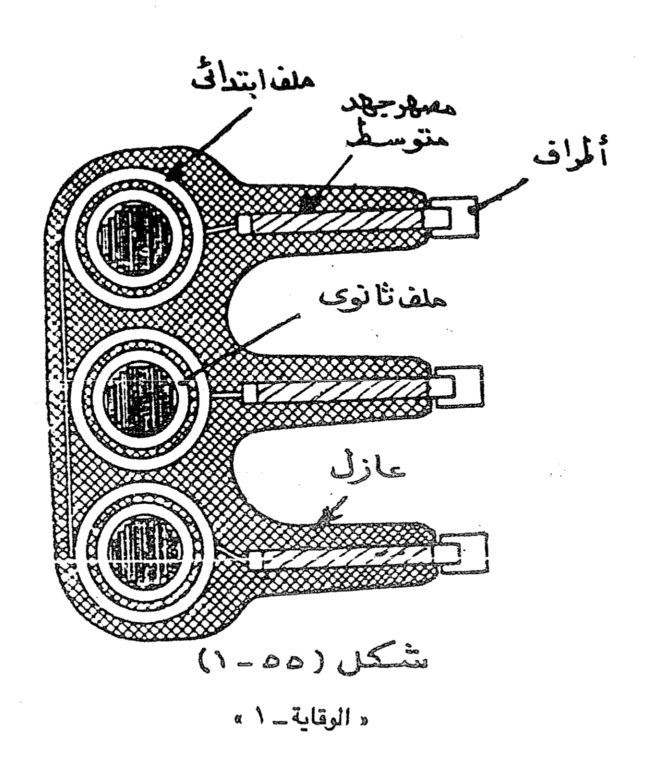
مثال :

محول جهد ذو نسبة تحويل ١١ ك.ف / ١٠٠ فولت (من النوع الكبير) ـ درجة الدقة ٠,٥ ـ عبء المحول المحول ٩٠ ڤولت امبير . سوف توصل الاجهزة التالية على الملف الثانوى :

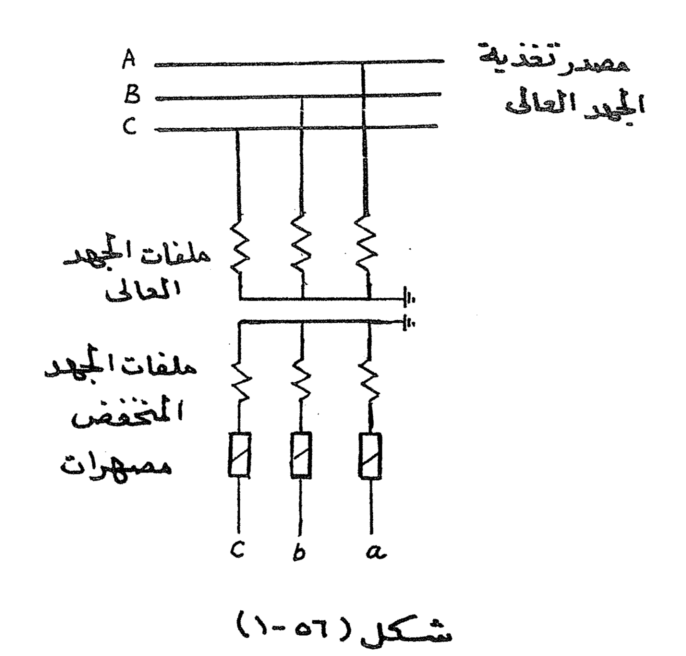
ڤولتمبتر قدرته ١٠ ڤولت أمبير



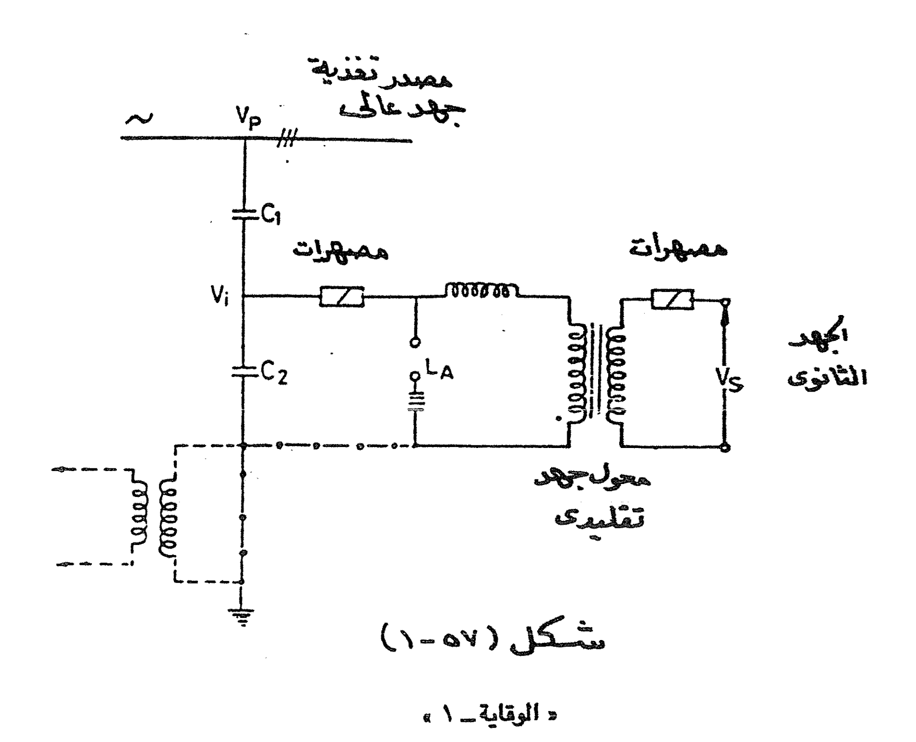
شكل (٥٤-١)



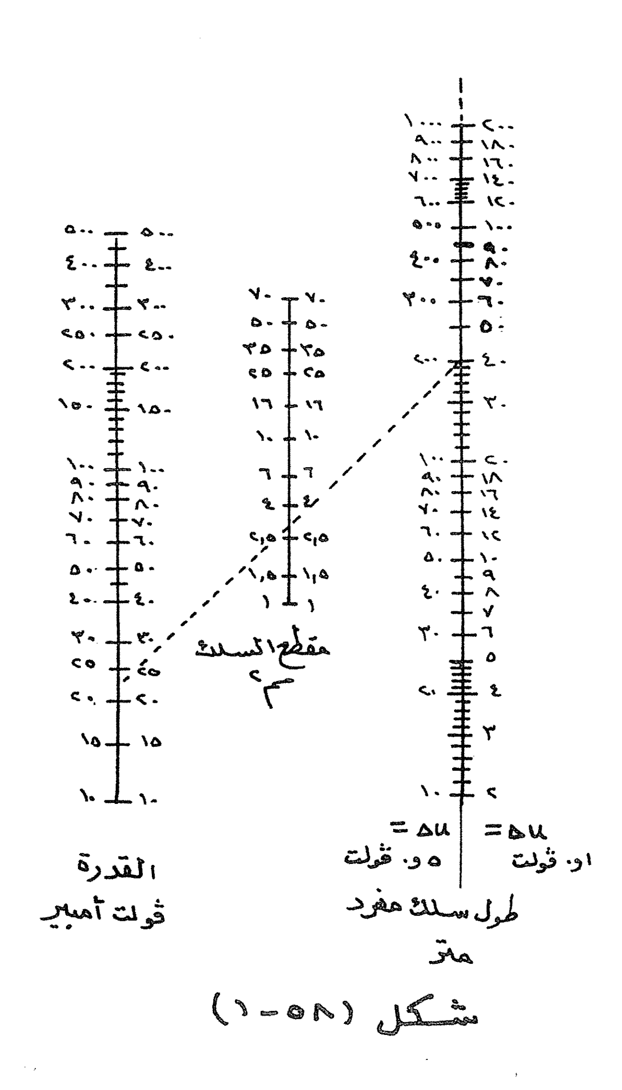
شكل (٥٥-١)



شكل (٥٦-١)



شكل (٥٧-١)


القدرة
ڤولت أمبير
مقطع السلك
مم٢
طول سلك مفرد
متر
ΔU = ٥و. ڤولت
ΔU = ١و. ڤولت

شكل (٥٨-١)

عدادين قدرتيهما ٨ ڤولت أمبير

مسجل قدرته ٤ ڤولت أمبير

وبذلك تكون القدرة الكلية ٢٢ ڤولت امبير ، طول السلك المفرد ٢٠٠ متر ، هبوط الجهد ٠,٥ ڤولت . احسب مقطع السلك

الحل :

نرسم خط مستقيم بين القدرة ٢٢ ڤولت امبير وطول السلك ٢٠٠ متر عند انخفاض جهد ٠,٥ ڤولت ـ يقطع هذا الخط محور مقطع السلك عند النقطة ٣,١ مم٢ لسلك نحاس . نختار قيمة اعلى ولتكن ٤ مم٢ .

كذلك يمكن استخدام شكل (٥٩-١) والذى يوضح العلاقة بين مقطع سلك نحاس وطول السلك المستخدم لمحولات الجهد ذات جهد يساوى ٦، ١٠، ٢٠، ٣٠ ك.ف ولحل المثال السابق يتم رسم خط رأسى عند القيمة ٢٠٠ متر لطول السلك يقطع الخط لمحول الجهد ١٠ ك.ف فنحصل على مقطع السلك ٣,٧ مم٢ .

اختبارات محولات الجهد *Testing a voltage transformers*

قبل اجراء الاختبارات على محول الجهد يجب تسجيل بيانات المحول من لوحة البيان المركبة علية *(Nameplate)* من حيث نسبة التحويل ، عدد الملفات الثانوية ، رموز اطراف الملفات الثانوية ، عبء كل ملف ، ...

ثم نبدأ أجراء الاختبارات الآتية :-

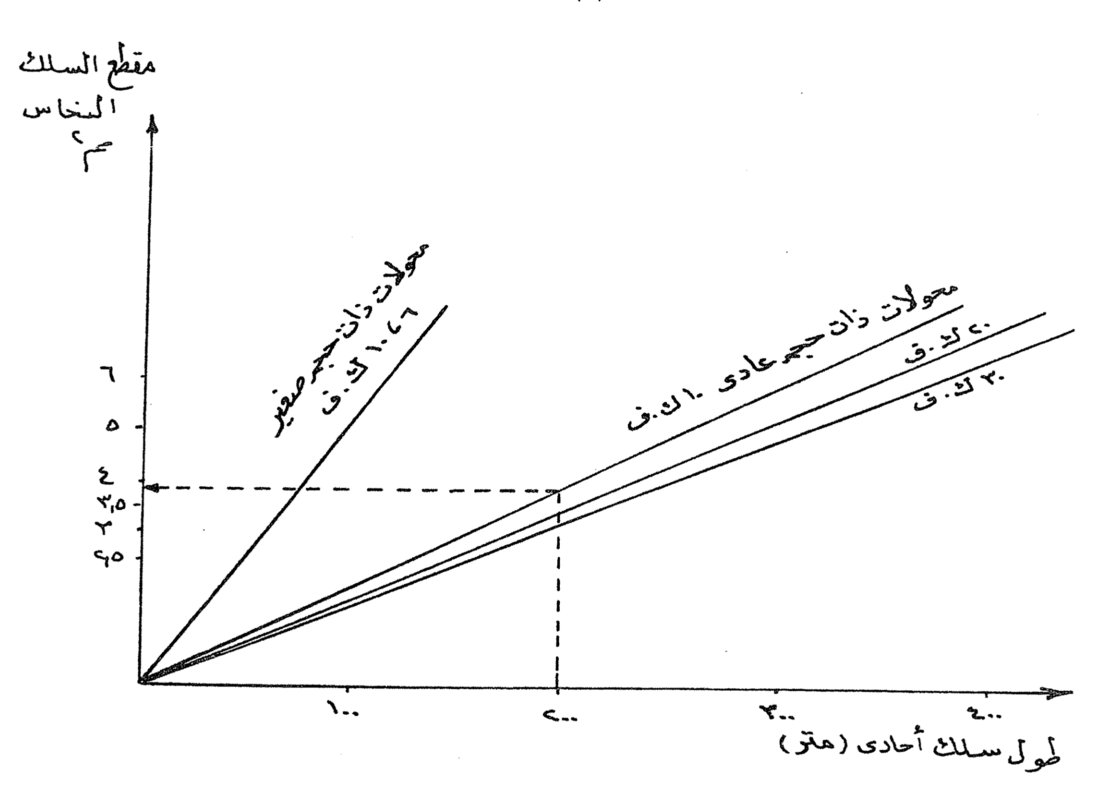
١ - اختبار العزل *An insulation test*

باستخدام ميجر *(Megger)* على الاقل ١٠٠٠ ڤولت *(d.c)* وتؤخذ القراءات على تدريج ميجا اوم بعد مرور دقيقة واحدة ويؤخذ قياس العزل بين :

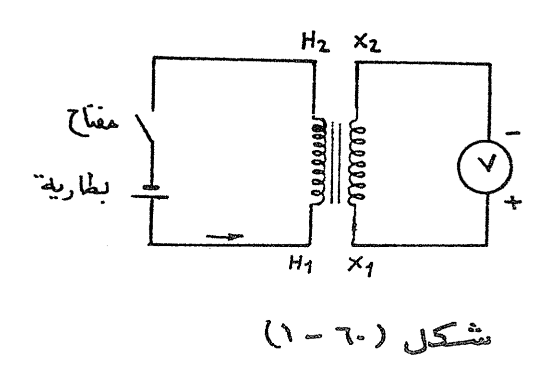
- الملفات الثانوية والملف الابتدائى

- الملفات الابتدائية وجسم المحول (مع عمل دائرة قصر بين الملفات الثانوية وجسم المحول)

- الملفات الثانوية وجسم المحول (مع عمل دائرة قصر بين الملفات الابتدائية وجسم المحول) .



شكل (٥٩-١)



شكل (٦٠-١)

٢ – اختبار نسبة التحويل *A ratio test*

يسلط ١٠٠ ڤولت تيار متردد على طرفى الملف الابتدائى ، ثم يقاس الجهد الناتج على طرفى الملف الثانوى ، باستخدام فولتمتر تيار متردد ، وبقسمة الجهد المسلط على الملف الابتدائى على الجهد المقاس على الملف الثانوى نحصل على نسبة التحويل .

٣ – اختبار القطبية *A polarity test*

يتم توصيل ڤولتمتر بين طرفى الملف الثانوى بحيث يوصل الطرف الموجب للفولتمتر على النهاية X_1 والطرف السالب على النهاية X_2 ثم توصل بطارية صغيرة لحظياً من خلال مفتاح بين طرفى الملف الابتدائى وليكن الطرف الموجب للبطارية على النهاية H_1، كما فى شكل (٦٠-١) ، ثم يلاحظ اتجاه مؤشر الفولتمتر ، فإذا كان فى الاتجاه الموجب فمعنى ذلك ان الطرف H_1 فى اتفاق وجهى مع الطرف X_1، اى ان القطبية سليمة ، اما اذا كان المؤشر فى الاتجاه السالب فان القطبية معكوسة ، ويكرر الاختبار لباقى الملفات الثانوية (اذا كان محول الجهد يحتوى على اكثر من ملف ثانوى) .

مصدر التيار المستمر *(D.C)*

يستخدم مصدر تيار مستمر بجميع محطات الكهرباء ، سواء التوليد او محطات محولات القدرة او الموزعات ... لما يتمتع به من اهمية كمصدر تغذية لدوائر التحكم والوقاية والاشارات ، حيث يمكن عن طريقه تشغيل جميع قواطع التيار (عمليات الفصل والتوصيل) ، بالاضافة الى تشغيل ضواغط الهواء آلياً الى جانب ضرورة استخدامه فى انارة الطوارئ بالمحطات عند انقطاع التيار المتردد .

يمكن الحصول على التيار المستمر باحدى الطريقتين الآتيتين :

أ – موحدات التيار *Rectifier*

وذلك عن طريق تحويل التيار المتردد ، بعد تخفيضه الى قيمة معينة حسب المطلوب ، الى تيار مستمر .

ب – البطاريات *Stationary batteries*

طبقاً للمواصفات القياسية رقم ١٠٢ ـ الهيئة المصرية للتوحيد القياسى ـ تعرف البطارية الثابتة ، المستخدمة بالمحطات الكهربائية ، بأنها عبارة عن مركمين ثابتين ،

او اكثر متصلة كهربياً فى دائرة واحدة ، ويعرف المركم *(Accumulator)* بأنه عمود فولتا الذى يمكن بعد تفريغة أن يعاد الى حالته الكيميائية الاصلية (المشحونة) وذلك بعد امرار تيار كهربى فيه بعكس اتجاه تيار التفريغ .

ببساطة البطارية عبارة عن مجموعة من المراكم والتى تعتبر مخزن للطاقة الكهربائية اذا امكن تخزين الطاقة بها عن طريق الشحن ، وأخذها عند الحاجة اليها عن طريق التفريغ .

ويتكون المركم من وعاء بغطاء محكم يحتوى على :

- لوح موجب : الذى يكون المصعد *Anode* ، او جزء منه أثناء الشحن
- لوح سالب : الذى يكون المهبط *Cathode* ، او جزء منه أثناء الشحن .
- السائل الكهربى : الذى يملء المركم .

تنقسم البطاريات المستخدمة بالمحطات الكهربائية الى :

أ - بطاريات الرصاص الحمضية *Lead acid batteries*

ويتكون كل مركم من :

- لوح (قطب) موجب *Anode* عبارة عن معجون من فوق اكسيد الرصاص موضوع على شبكة من سبيكة مكونة من الرصاص والانتيمون .
- لوح قطب سالب *Cathode* عبارة عن معجون من الرصاص الاسفنجى موضوع على شبكة من سبيكة مكونة من الرصاص والانتيمون .
- السائل الكهربى *Electrolyte* عبارة عن حمض الكبريتيك المخفف .

ب - بطاريات قلوية *Alkaline batteries*

يوجد نوعين من البطاريات القلوية هما :

١ - بطاريات نيكل كادميوم *Nickel-cadmium batteries*

يتكون كل مركم من الواح من حديد منكل مغطى بطبقة من المواد الفعالة كالآتى :

- لوح (قطب) موجب : هيدروكسيد نيكل - جرافيت - هيدروكسيد باريوم .
- لوح (قطب) سالب : هيدروكسيد كاديوم - حديد .

- السائل الكهربى : هيدروكسيد بوتاسيوم ـ هيدروكسيد ليثيوم

٢ - بطاريات نيكل حديد *Nickle - ferrous batteries*

يتكون كل مركم من الواح من حديد منكل مغطى بطبقة من المواد الفعالة كالآتى :

- لوح (قطب) موجب : هيدروكسيد نيكل ـ جرافيت ـ هيدروكسيد باريوم
- لوح (قطب) سالب : مسحوق حديد ـ اكسيد حديد .
- السائل الكهربى : هيدروكسيد بوتاسيوم ـ هيدروكسيد ليثيوم .

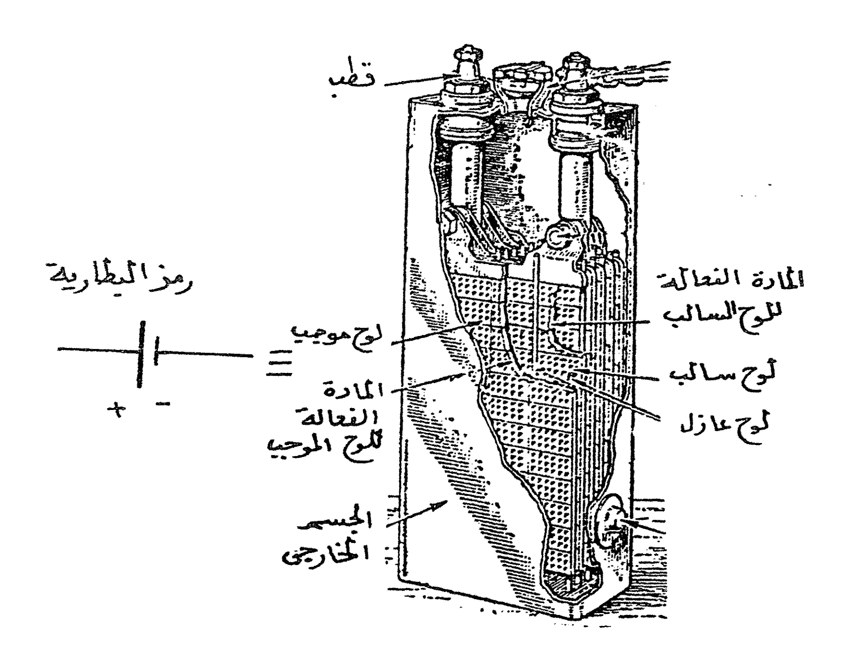
يوضح شكل (٦١-١) مقطع فى بطارية قلوية انتاج شركة اديسون *(Edison)* .

وتمتاز البطاريات القلوية عن الحمضية بالآتى :

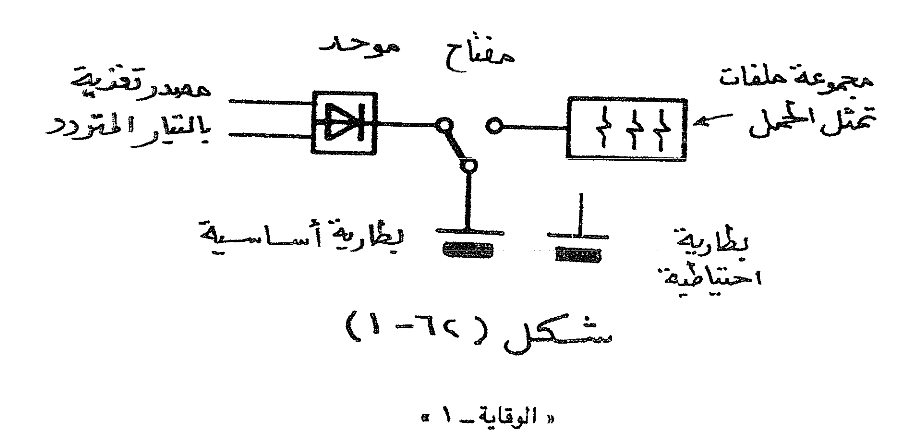
- ان الاجهادات الميكانيكية عالية .
- يكون عمرها اطول
- تكون اصغر حجماً وبالتالى تشغل فراغاً اقل .
- تكون اقل وزناً .

ولكن من عيوب البطاريات القلوية الآتى :

- ان جهد الخلية حوالى ١,٢ ڤولت .
- ارتفاع فى الجهد خلال الشحن حوالى ٥٠ ٪ .
- يحدث هبوط فى الجهد خلال التفريغ حوالى ٢٠ ٪ .
- تكون الكفاءة حوالى ٧٥ ٪ .
- تتأثر بدرجات الحرارة .
- يكون استهلاكها للمياة المقطره اكثر .
- يتم تغير المحلول كل عامين .
- تحتاج تكلفة عالية .



شكل (٦١ - ١)



شكل (٦٢ - ١)

طرق تشغيل البطارية

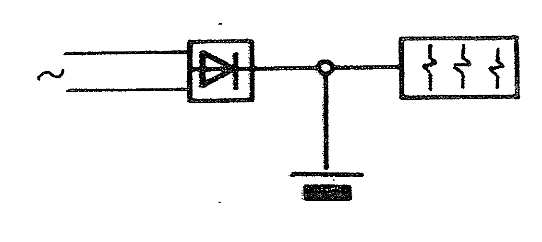
توصل مجموعة من المراكم على التوالى بحيث تعطى الجهد المطلوب لتشغيل الملفات واجهزة الوقاية ، التى تحتاج الى تيار مستمر لتشغيلها ، عادة يكون هذا الجهد ٢٤، ٤٨، ١١٠، ٢٢٠ ڤولت . فمثلاً يقال ان جهد البطارية ١١٠ ڤولت وهذا يعنى مجموع جهود المراكم ـ او الخلايا ـ المتصلة على التوالى ولايشار الى جهد المراكم . يتم توصيل البطارية على الحمل ـ على سبيل المثال ملفات الفصل والتوصيل وملفات اجهزة الوقاية ـ باحدى هذه الطرق :

١ – اذا كان الحمل يغذى مباشرة من البطارية ـ على ان تفصل البطارية عن الشحن ـ فى هذه الحالة نحتاج الى بطارية احتياطية للتشغيل اثناء شحن البطارية الرئيسية ـ ويطلق على هذه الطريقة التشغيل الكامل بالبطارية *Pure battery operation* كما فى شكل (٦٢-١)

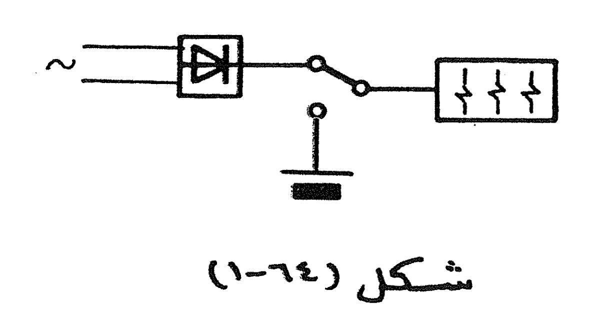
٢ – اذا كانت البطارية والموحد والحمل متصلين على التوازى بصفة مستمرة . فى هذه الحالة يتم تغذية الاحمال بتيار مستمر من الموحد . بينما يكون الغرض من البطارية هى تغذية الحمل وقت انقطاع التيار المتردد المغذى له ، او فصل الموحد للصيانة وتعرف هذه الطريقة بالتشغيل الطافى *Floating operation* كما فى شكل (٦٣-١) وهى اكثر الطرق شيوعاً فى المحطات الكهربائية .

٣ – يتم تغذية الحمل من الموحد فقط وتكون البطارية مفصولة ، ويتم توصيلها عند الضرورة فقط ، اى عند انقطاع تيار التغذية الرئيسى . مع مراعاة ان تكون البطارية مشحونة بالكامل بصفة مستمرة وتعرف هذه الطريقة بعملية التحويل *Changeover operation* كما فى شكل (٦٤-١) .

ومنذ عهد قريب كانت تستخدم مجموعة مكونة من مولد تيار مستمر ومحرك بدلا من الموحد ولهذه المجموعة نفس الغرض من حيث تغذية ملفات الفصل والتوصيل للقواطع وملفات أجهزة الوقاية ودوائر الاشارات وبالاضافة الى استخدامها لشحن البطارية ، حيث يتم شحن البطارية بتمرير تيار مستمر يعادل ((سعة البطارية أمبير/ساعة) /٨) لمدة سبعة ساعات ، يمكن التأكد من انتهاء شحن البطارية عند ثبوت الجهد لمدة نصف ساعة .



شكل (٦٣-١)



شكل (٦٤-١)

يوضح شكل (٦٥-١) بطارية متصلة على التوازى مع مجموعة مولد ومحرك لتغذية قضبان رئيسية للتيار المستمر وعن طريق هذه القضبان يتم تغذية الاغراض المختلفة من خلال مفاتيح التوزيع ......E_1, E_2, E_3.

لو نظرنا الى شكل (٦٦-١) نجده يماثل شكل (٦٥-١) ولكن باستخدام موحد تيار بدلاً من مجموعة محرك ومولد ويكون توزيع التيار المستمر من قضبان التوزيع الرئيسية الى قضبان توزيع فرعية كما فى شكل (٦٧-١) كالآتى :

- قضبان فرعية رقم (١) لتغذية متممات الوقاية - ودوائر التحكم - ودوائر فصل قواطع التيار .
- قضبان فرعية رقم (٢) لتغذية ملفات توصيل قواطع التيار (هذه القضبان والتوصيلات الخاصة بها يجب ان تتحمل تيار مستمر مرتفع يمر بملفات التوصيل) .
- قضبان فرعية رقم (٣) لتغذية دوائر الاشارات والانذار .

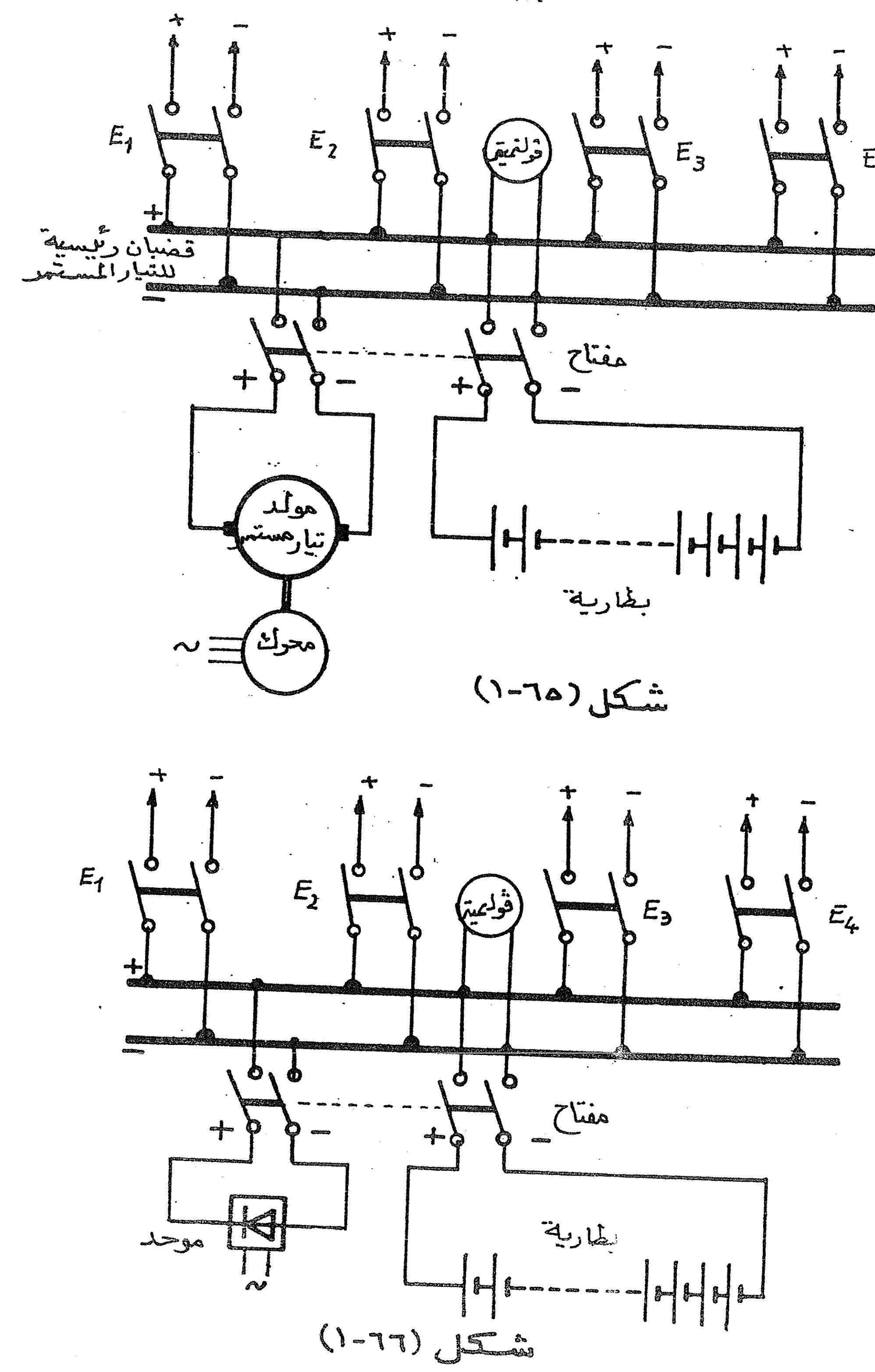
يجب اضافة مصهرات لحماية الدوائر المختلفة ضد اى قصر كما فى شكل (٦٧-١)

ويوضح شكل (٦٨-١) جزء من دائرة القضبان الفرعية رقم (١) بشكل (٦٧-١) حيث تم توزيع التيار المستمر من خلال مصهرات ضد زيادة الحمل (١٠ امبير تقريباً) للاغراض التالية :

تشغيل الضواغط - تشغيل نظام اطفاء الحريق - تغذية لوحة الاشارات - تغذية خلايا الجهد العالى والجهد المتوسط .

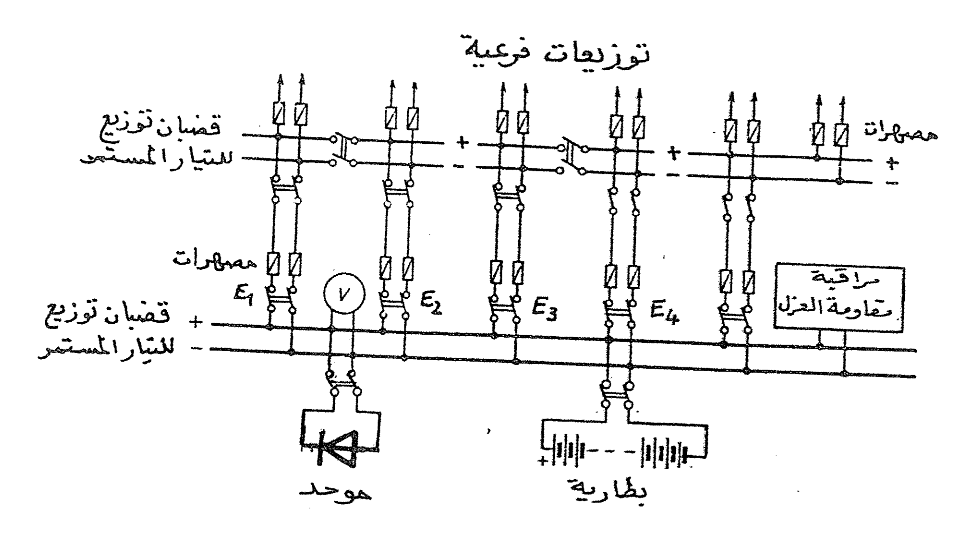
يضبط جهد التيار المستمر لقضبان التوزيع الرئيسية من خلال دوائر تعادل (Counter cells) عبارة عن اربعة مجموعات ، كل مجموعة عبارة عن مكثفات - موحدات - متمم - لمبة اشارة - ٢ زر تشغيل ، وعن طريق ادخال هذه الوحدات او اخراجها من مسار التيار المستمر يمكن ضبط قيمة جهد التيار المستمر ، حيث تربط القضبان الرئيسية بقضبان التوزيع الرئيسية من خلال هذه الدوائر ، ويوضح شكل (٦٩-١) هذه الفكرة ، ويلاحظ توصيل البطارية والموحد على التوازى (Floating)- وتكون وحدة المولد / المحرك جاهزة للتشغيل عند الحاجة .

عند حدوث قصر ارضى او انهيار عزل ، لأى جزء فى دوائر التيار المستمر سواء

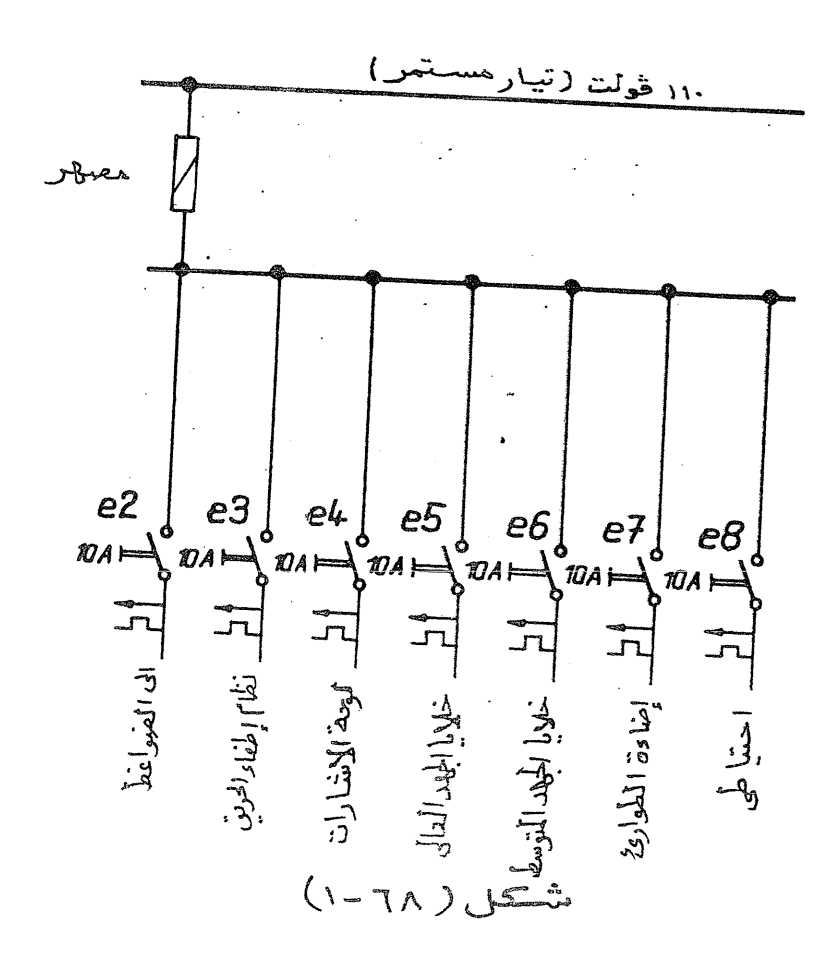


شكل (٦٥-١)

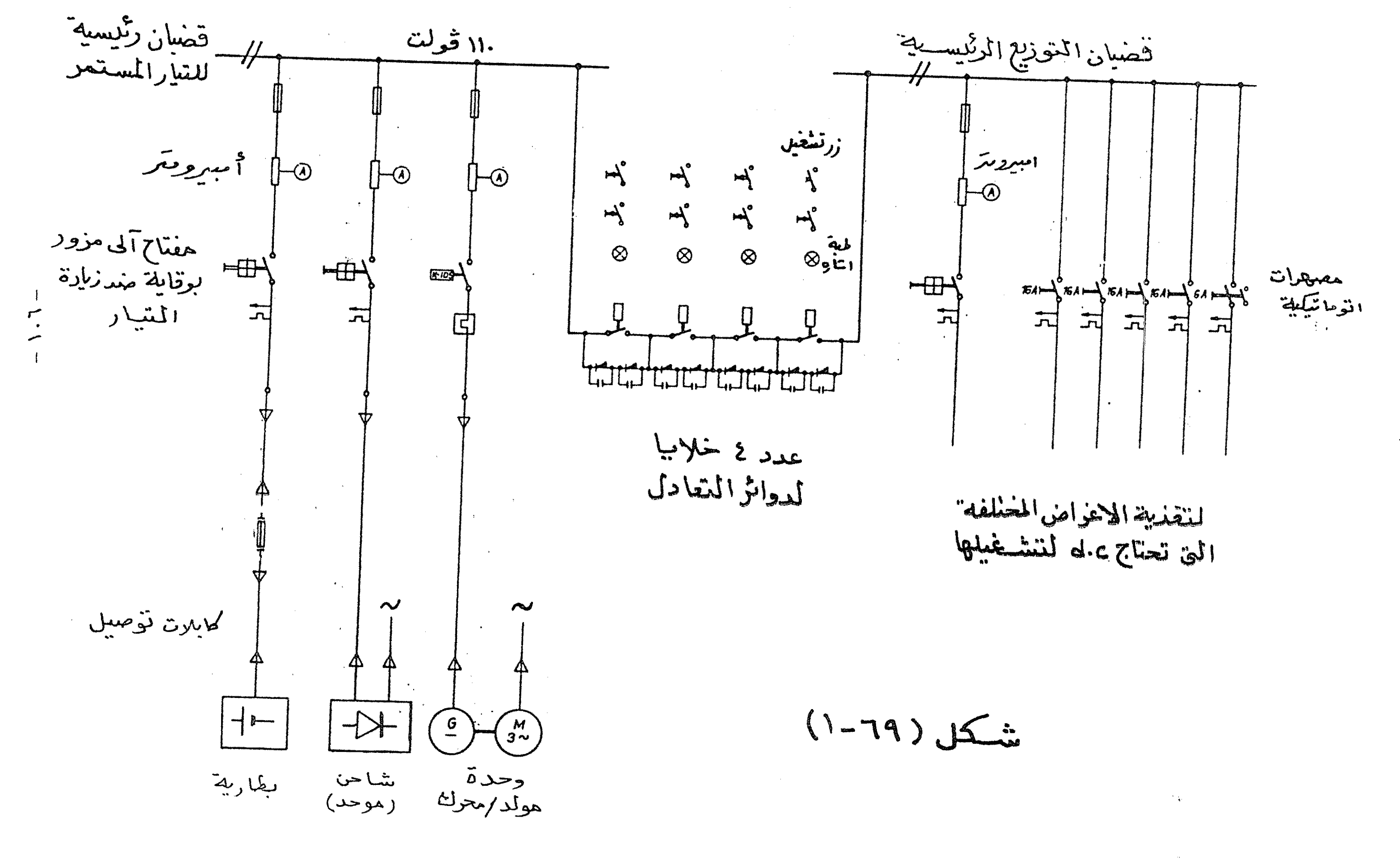
شكل (٦٦-١)



شكل (٦٧-١)



شكل (٦٨-١)



قضبان رئيسية للتيار المستمر
١١٠ ڤولت
قضبان التوزيع الرئيسية
أمبيرومتر
امبيرومتر
مفتاح آلى مزود بوقاية ضد زيادة التيار
زر تشغيل
لمبة اشارة
مصهرات اتوماتيكية
16A
6A
عدد ٤ خلايا لدوائر التعادل
لتغذية الاغراض المختلفة التى تحتاج d.c لتشغيلها
كابلات توصيل
بطارية
شاحن (موحد)
وحدة مولد/محرك
G
M
3~

شكل (٦٩-١)

على القطب الموجب او القطب السالب فان ذلك يمكن أن يؤدى الى فصل خاطئ للمعدات نتيجة مسار جانبى *(By pass)* للتيار المستمر ، لذلك يلزم دائماً الكشف عن مقاومة العزل للقطبين الموجب والسالب ، عن الارض من خلال مايعرف بمراقبة مقاومة العزل *(Insulation resistance)* وهى المضافة بشكل (٦٧-١) ، واحياناً تعرف بانها وحدة مراقبة عزل قطبى التيار المستمر ويوضح شكل (٧٠-١) فكرة مبسطة لاستخدام مراقبة مقاومة العزل ، ولو تخيلنا وجود مقاومتين r_1 , r_2 أحدهما بين القطب الموجب والارض والاخرى بين القطب السالب والارض ، وڤولتمتر لقراءة الجهد بين القطب الموجب والارض من خلال زر تشغيل B_1 ، وڤولتمتر لقراءة الجهد بين القطب السالب والارض من خلال زر تشغيل B_2 .

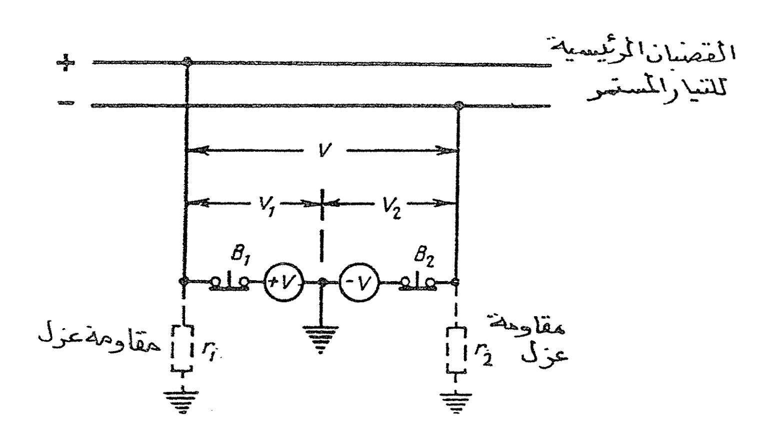
فاذا كان مستوى العزل جيد ، اى لايوجد اى دوائر قصر بالتيار المستمر ، فإن $V_1 = V_2 = 0.5\ V$ وكذلك $r_1 = r_2$

وعند حدوث قصر على احد القطبين فان مقاومة العزل لهذا القضب تنخفض وبالتالى تنخفض قيمة هذا الجهد بالنسبة للارض ويرتفع جهد القطب الآخر بالنسبة للارض بنفس القيمة وبهذه الطريقة يمكن الكشف عن حالة القطبين وما قد يحدث لأى منهما ومدى انهيار عزله للارض ويمكن الكشف عن حدوث قصر باحد القطبين عن طريق استخدام طريقة مراقبة آلية ، كما فى شكل (٧١-١) وتتكون الدائرة فى هذه الحالة من قنطرة عبارة عن أربعة مقاومات R_1, R_2, r_1, r_2 (حيث r_2, r_1 تمثلان مقاومتى العزل)

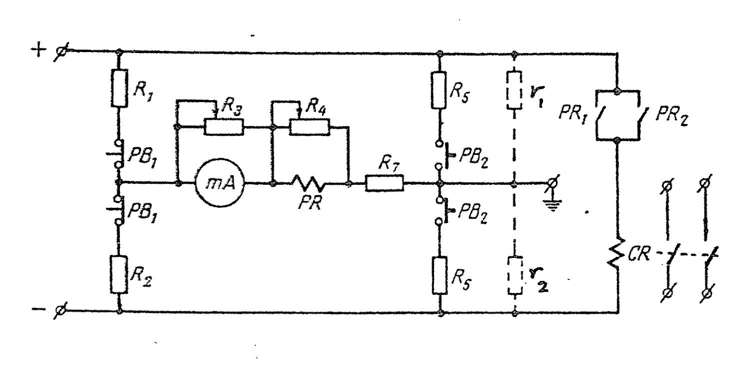
ويكشف عن عدم الاتزان عن طريق متمم قطبى *(Polarized relay) PR* متصل على التوالى مع مللى اميتر *(mA)*.

فاذا كان مستوى العزل جيداً ، فان القنطرة تكون متزنة وبالتالى لايمر تيار بالمتمم PR ولا بالمللى اميتر .

أما عند حدوث قصر بأحد القطبين ، فان مقاومة العزل لهذا القطب(ولتكن r_1) تنخفض وتؤدى الى عدم اتزان القنطرة ، ويمر تيار بالمللى امبير وبملف المتمم القطبى الذى بدوره يؤدى الى قفل احد نقط التلامس الخاصة به وهى PR_1 او PR_2 (معتمداً على اى من القطبين حدث عليه القصر) وبالتالى يغذى المتمم المساعد CR بالجهد فتقفل نقط التلامس الخاصة به ، والتى تغذى دوائر الاشارة والانذار .



شكل (٧٠-١)



شكل (٧١-١)

ويحتوى جهاز قياس المللى امبير (mA) على تدرج صفرى فى المركز لنتمكن بواسطة معرفة اى القطبين حدث عليه قصر .

يمكن عن طريق زر التشغيل PB_2 عمل مراجعة يومية للتأكد من سلامة الوحدة .

ويمكن عن طريق زر التشغيل PB_1 معرفة مقاومة العزل لكل قطب منفصلاً عند حدوث هبوط لحظى فى الجهد .

تستخدم المقاومات R_3,R_4 لضبط قيمة التيار المار فى المتمم .

وتستخدم المقاومات R_5,R_6, R_7 للحد من قيمة التيار .

وتستخدم حديثاً أجهزة ، للكشف عن اعطال دوائر التيار المستمر ، تتكون من عناصر جميعها الكترونية .

٤- مصدر التيار المتردد $(A.C)$

من استعراضنا لمصادر التيار المستمر ، نلاحظ أنه يتكون من بطاريات ـ شاحن ـ مصهرات ـ شبكة توزيع ـ بالاضافة الى حجرة خاصة بالبطاريات لها مواصفات خاصة من حيث التهوية والاتساع . كذلك يلزم عمل اختبارات دورية وعمليات شحن وتفريغ ...

اى ان مصدر التيار المستمر يعتبر مكلفاً اقتصادياً للمحطات الكهربائية . من هنا جاء التفكير فى استخدام مصدر تيار متردد بدلاً من التيار المستمر وذلك لتشغيل متممات الوقاية ودوائر التحكم لقواطع التيار ودوائر التحكم الآلى .

ويعتبر مصدر التيـار المتردد بسيطاً وغير مكلفاً واكثر موثوقية كما سيتضح فيما بعد .

نحصل على مصدر التيار المتردد من الدوائر الثانوية لمحولات التيار او الجهد او الاثنين معاً كالآتى :

أ - استخدام محولات التيار

يتم الاستفادة من التيار الثانوى المار بالملف الثانوى لمحول التيار ، اثناء حدوث قصر ، لتشغيل ملف الفصل لقاطع التيار . ويمكن هذا بطريقتين اما بنفس قيمة التيار الثانوى وقت القصر او بواسطة تحويل هذا التيار الى قيمة مناسبة من خلال محول تيار مساعد ويوضح شكل (٧٢-١) إستخدام التيار الثانوى المار بالملف الثانوى لمحول التيار

لفصل قاطع التيار . وتعتمد هذه الفكرة على استخدام متمم وقاية ضد زيادة التيار يحتوى على ملف تيار ونقطة تلامس مغلقة واخرى مفتوحة .

ففى حالة التحميل العادى يمر التيار بالملف الابتدائى لمحول التيار ويتحول حسب نسبة التحويل ، الى الملف الثانوى ، والذى يكمل دائرته بملف المتمم ونقطة التلامس المغلقة (١) ولايمر بملف فصل القاطع وهذا واضح بالرسم عن طريق الاسهم المتقطعة .

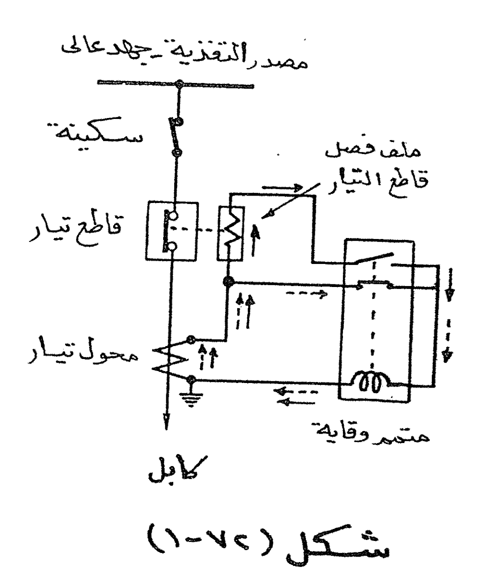
وعند حدوث قصر يتحول التيار ، بقيمة مرتفعه ، فى الملف الثانوى مسبباً فى اشتغال متمم الوقاية والذى بدوره يقفل نقطة التلامس المفتوحة (٢) ثم يفتح نقطة التلامس (١) بعد زمن معين فيمر التيار الثانوى من محول التيار الى ملف الفصل للقاطع ويكمل مساره خلال نقطة التلامس (٢) وملف المتمم (كما هو واضح من الاسهم ذات الخط المستمر بالرسم) عندئذ يفصل قاطع التيار ويعزل القصر .

ويوضح شكل (٧٣-١) ايضاً استخدام محولات التيار لفصل قاطع التيار ولكن من خلال محول تيار مساعد ، ففى حالة الاحمال العادية يمر تيار بالملف الثانوى لمحول التيار ويكمل دائرته من خلال ملف المتمم ومن المعلوم ان قيمة التيار فى حالة الاحمال العادية لاتقوم بتشغيل المتمم وبالتالى فان نقطة التلامس للمتمم تكون مفتوحة ولكن هذا التيار يتحول ، حسب نسبة التحويل للمحول المساعد ، الى قيمة معينة تمر بالملف الثانوى للمحول المساعد ولاتكمل دائرته لان نقطة تلامس المتمم مفتوحة . وهنا يجب ملاحظة ان محول التيار المساعديكون من نوع خاص حيث لايحدث له انهيار على الرغم من ان دائرته الثانوية مفتوحة دائماً وقت التحميل العادى ويعرف هذا النوع بأنه محول وسيط ذا قابلية للتشبع *(Intermediate saturable transformer)*.

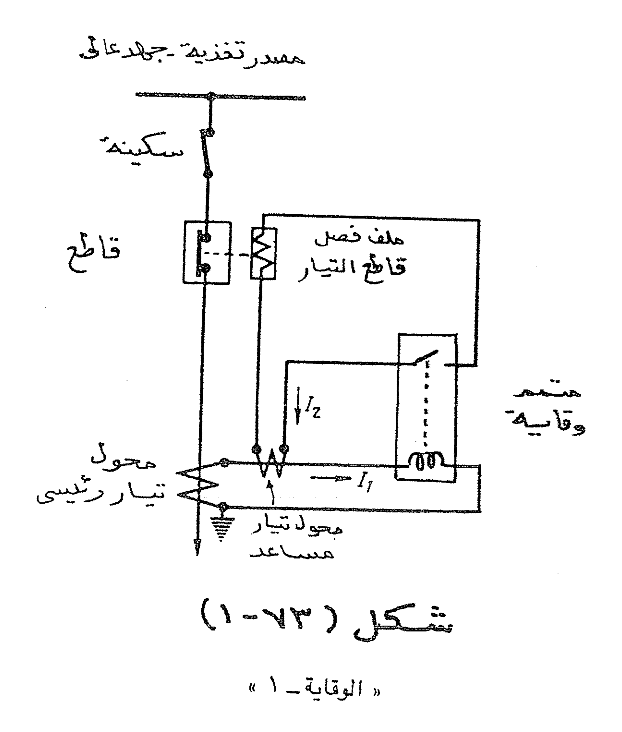
وفى حالة حدوث قصر يمر تيار عالى بالملف الثانوى لمحول التيار I_1 يعمل على تشغيل متمم الوقاية ويقفل نقطة التلامس الخاصة به فيمر التيار I_2 بملف فصل القاطع ، عندئذ يفصل قاطع التيار ويعزل القصر .

ب - استخدام محولات الجهد

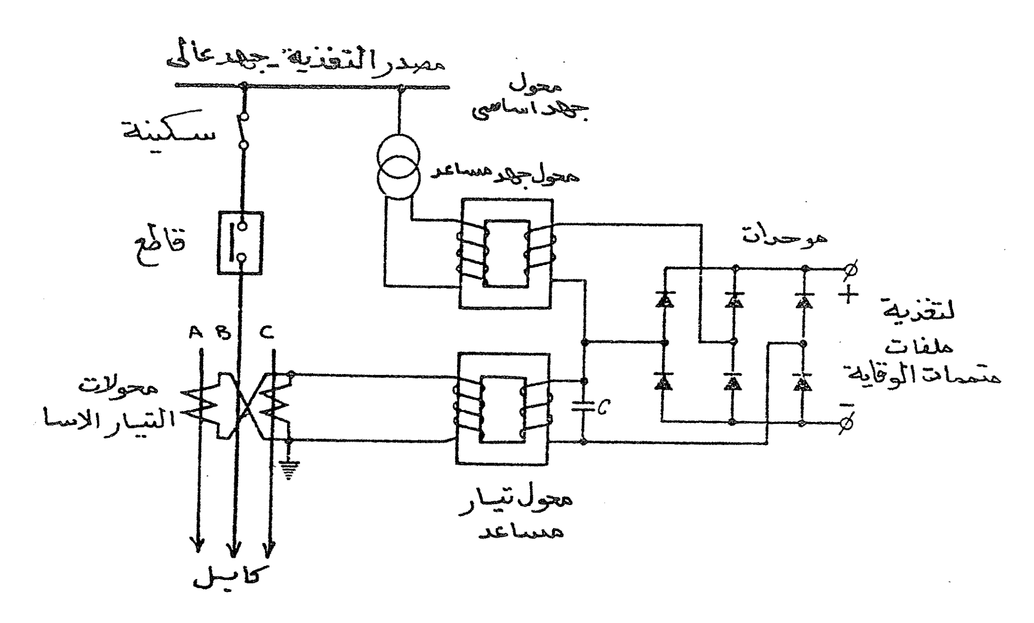
يستخدم جهد الملف الثانوى لمحولات الجهد ، والذى يكون عادة ١٠٠ ڤولت ، لتشغيل دوائر التحكم الآلى . وتغذية بعض انواع متممات الوقاية . علماً بانه لايمكن استخدامه لفصل قاطع التيار أثناء حدوث القصر ، لان قيمة هذا الجهد تنخفض وتصبح غير كافية



شكل (٢-٧٢)



شكل (٣-٧٣)



مصدر التغذية جهد عالى
محول جهد اساسى
سكينة
محول جهد مساعد
قاطع
موحدات
A B C
محولات التيار الاسا
C
+
-
لتغذية
ملفات
متممات الوقاية
محول تيار مساعد
كابل

شكل (٧٤-١)

لتشغيل ملف فصل القاطع .

جـ - توحيد التيار المتردد (Rectifying)

يوضح شكل (٧٤-١) هذه الفكرة وتتكون وحدة توحيد التيار من :

١- محول تيار مساعد له القدره على التشبع ، يغذى الملف الابتدائى له من فرق التيار المار فى وجهين (A ، C مثلاً) وهو I_{ac} ومنه نحصل على جهد من الملف الثانوى .

٢ - محول جهد مساعد ، يغذى الملف الابتدائى له من الملف الثانوى لمحول الجهد الرئيسى.

٣ - موحدات تغذى من الملفات الثانوية لكل من محول التيار المساعد ومحول الجهد المساعد ، كما فى الشكل ، للحصول على تيار مستمر لتغذية متممات الوقاية .

ولتنعيم (Smooth) المخرج من محول التيار المساعد بدون توافقيات ، نوصل مكثف C على مخرج الملف الثانوى .

من ذلك يتضح ان التيار المستمر الناتج يعتمد على كل من التيار والجهد .

ونحصل على التيار المستمر فى الحالتين الآتيتين :

١ - فى حالة التشغيل العادى :

تكون قيمة الجهد كبيرة وقيمة التيار صغيرة ويصبح التيار المستمر الناتج بدلالة قيمة الجهد الكبيرة .

٢ - فى حالة حدوث قصر :

تكون قيمة الجهد صغيرة وقيمة التيار كبيرة ويصبح التيار المستمر الناتج بدلالة قيمة التيار الكبيرة .

٢-١ الكميات الكهربائية *Electrical Quantities*

تتغذى متممات الوقاية بكمية كهربائية او اكثر ، وتكون الكمية الكهربائية عبارة عن تيار او جهد او الاثنين معاً او توليفة من تيارات مختلفة او توليفة من جهود مختلفة ويمكن ان يكون التيار او الجهد عبارة عن تيار الوجه او جهد الوجه *(Phase current or phase voltage)* والتى نحصل عليها من الدوائر الثانوية لمحولات التيار او الجهد او

تكون مركبات التتابعية الموجبة او السالبة او الصفرية للجهد او التيار والتى نحصل عليها من دوائر التتابع (Sequance networks) ...

وتوجد معدات وسيطة مختلفة ، تستخدم لاغراض كثيرة ، تستخدم بين الدوائر الثانوية لمحولات التيار او الجهد وبين متممات الوقاية من هذه المعدات :

١ - محولات التيار المساعدة (او محولات المواءمة) *Auxiliary C.Ts*

٢ - المحول الجمعى *Summation transformer*

٣ - دوائر التتابع *Sequance network*

٤ - محولات الخلط *Mixing transformers*

وسوف نستعرض فى هذا الجزء تعريف لكل معدة وسيطة ، وبعض الامثلة لاستخداماتها . ونبدأ اولاً بتعريف بعض الكميات شائعة الاستخدام فى متممات الوقاية وهى : كمية كهربائية بدون متجه ، حاصل ضرب كميتين ، النسبة بين كميتين ، طرح كميات ذات متجه ، جمع كميات ذات متجه .

أ - كمية (بدون متجه) *Magnitude*

يعتمد عمل المتمم فى هذه الحالة على كمية كهربائية معينة (لاتعتمد على الاتجاه) تؤخذ عن طريق الملفات الثانوية لمحولات التيار او الجهد ويمكن ان تكون احد هذه الحالات :

- كمية تيار معينة تمثل قيمة تيار القصر او قيمة تيار زيادة الحمل .
- كمية جهد معينة تمثل انخفاض او زيادة الجهد .
- كمية جهد معينة تمثل دالة فى التردد او فى شكل الموجه او فى معدل التغيير

ب - حاصل ضرب كميتين *Product*

يحتوى المتمم على ملفين ، يغذى ملف بكمية تيار ويغذى الآخر بكمية جهد ويعتمد تشغيل المتمم على حاصل ضرب التيار فى الجهد او على العلاقة الآتية :

$$K\ V\ I\ Cos\ \Phi$$

حيث K: ثابت المعادلة ، Φ: الزاوية بين الجهد V والتيار I

جـ - الند بة بين كميتين *Ratio*

يصمم المتمم بحيث يعمل عند قيمة معينة للنسبة V/I ، ويحتوى المتمم على ملفين أحدهما يخضع للدالة $F_1 = K_1 V$ والملف الآخر يخضع للدالة $F_2 = K_2 I$ ويعمل المتمم عند تساوى الكميتين :

$$K_1 V = K_2 I$$

$$\frac{V}{I} = \frac{K_2}{K_1} = K$$

حيث K_2, K_1, K ثوابت

ء - طرح او جمع متجهات *Vector difference (or sum)*

يوصل المتمم بالدائرة الثانوية لمحولات التيار بطريقة معينة بحيث يمر بالملف اختلاف اتجاهى للتيارات . فمثلاً يمكن ان يعمل المتمم تبعاً للمعادلة .

$$\bar{I} = \bar{I}_1 + \bar{I}_2 + \bar{I}_3$$

ويعمل المتمم عند وصول I لقيمة أعلى من القيمة المضبوطة على المتمم

١ - محولات التيار المساعدة او محولات المواءمة

Auxiliary current transformer (matching C.T or intermediate C.T)

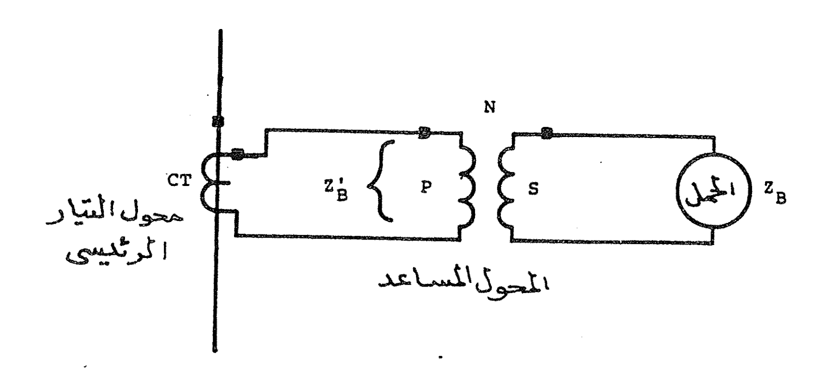
تستخدم محولات التيار المساعدة للاغراض الآتية :

١ - اذا كانت نسبة محولات التيار ، المركبة على المعدة الكهربائية تختلف عن النسبة المرغوبة فيتم عمل مواءمة (او تصحيح) لنسبة التحويل باستخدام محولات تيار مساعدة .

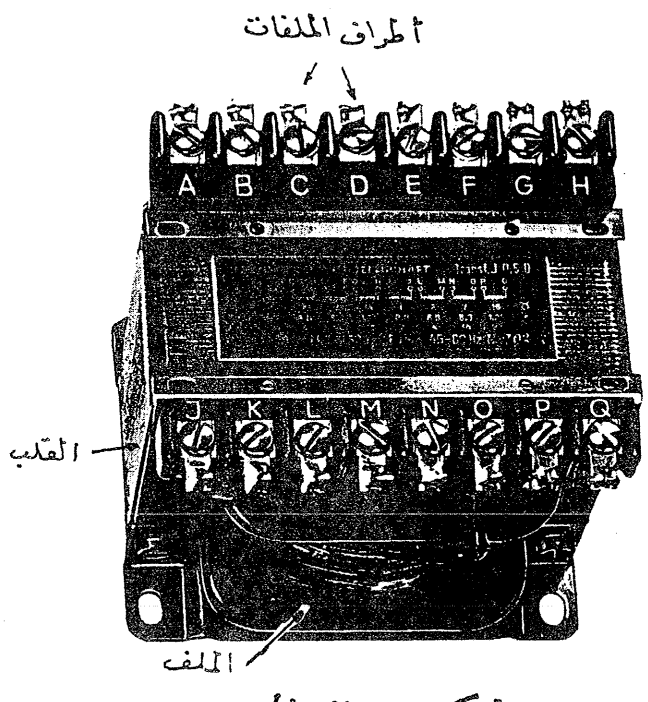
٢ - ازاحة زاوية الوجة للتيار *(Phase shift current)*

٣- كدائرة فصل *(Isolation)*

يوضح شكل (٧٥-١) استخدام محول تيار مساعد مع محول تيار رئيسى وتكون



شكل (٧٥-١)



شكل (٧٦-١)

العلاقة بين معاوقة الملف الثانوى لمحول التيار Z_B' ومعاوقة الحمل Z_B هى :

$$Z'_B = \frac{Z_B}{N^2}$$

حيث N نسبة تحويل المحول المساعد

فمثلاً اذا كانت النسبة $N = 10 : 5$ اى تساوى 2 فان

$$Z'_B = 0.25\ Z_B$$

وفيما يلى امثلة لمحولات التيار المساعدة :

أ - يوضح شكل (٧٦-١) محول تيار مساعد انتاج شركة سيمنز (SIEMENS) ويتكون المحول من ثمانية ملفات ، معزولة عن بعضها ، مقسمة الى أربعة أزواج من الملفات المتماثلة ويرمز لنهاية الملفات بالحروف من A الى Q ، وتعتمد القطبية (Polarity) على ترتيب الرموز (الحروف الابجدية) للملفات .

كما يوضح شكل (٧٧-١) تمثيل لهذا النوع . ويوضح جدول (٨-١) نسبة التحويل ، واقصى تيار متواصل واقصى جهد عدم تحميل .

جدول(٨-١)

الملف Windings	نسبة التحويل Turns ratio	أقصى تيار متواصل Max. continuous current (A)	أقصى جهد عدم تحميل Max. noload Voltage (v)
A-B	1	8.8	2
C-D	2	8.8	4
E-F	7	6.3	14
G-H	16	1.24	32
I-K	1	8.8	2
L-M	2	8.8	4
N-O	7	6.3	14
P-Q	16	1.24	32

بمعرفة عدد اللفات لكل ملف *(Turn / winding)* نحصل على أقصى جهد . وعند قيمة اكبر من ٢ ڤولت / لفة ، يصل تشبع القلب الحديدى الى درجة عالية اذا زاد خطأ التيار بدرجة كبيرة وتحتوى لوحة بيان المحول *(nameplate)* ، كما هو واضح فى شكل (٧٦-١) ، على :

عدد لفات كل ملف ، اقصى قيمة للتيار والجهد بالاضافة الى البيانات الآتية :

- حدود التردد : ٤٥ - ٦٠ هرتز
- زيادة الحمل : ٢٥ مضاعفات قيمة أقصى تيار لمدة ثانية واحدة

  ٨ مضاعفات قيمة اقصى تيار لمدة عشرة ثوانى

  (قيمة أقصى تيار هو قيمة التيار المتواصل بالملف)
- جهد الاختبار : ٢٠٠٠ ڤولت - ٥٠ هرتز

يمتاز هذا النوع باستخدامه لتحويل اى من التيار او الجهد .

نحصل على نسبة التحويل المطلوبة عن طريق استخدام ملف او اكثر لتشكيل الملف الابتدائى والملف الثانوى مع مراعاة قطبية الملفات ، فمثلاً عند توصيل الطرفين B,E معــاً ، واخذنا الطرفين F,A كمخرج فمن جدول (٨-١) نجد :

عدد اللفات الفعلية = ١ + ٧ = ٨ (لان الملفين متصلين على التوالى) .

وعندما يتم توصيل الطرفين F, B معاً ، وأخذ الطرفين A,E كمخرج فان

عدد اللفات الفعلية = ٧ -١ = ٦ (فرق عدد اللفات نتيجة عكس القطبية) وهذا واضح فى شكلى (٧٨-١) أ،ب .

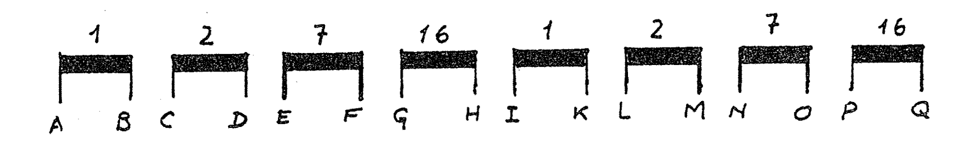
وتعرف نسبة التحويل (باهمال المفقودات) من العلاقة :

$$\frac{I_2}{I_1} = \frac{W_1}{W_2} = \frac{V_1}{V_2} = V$$

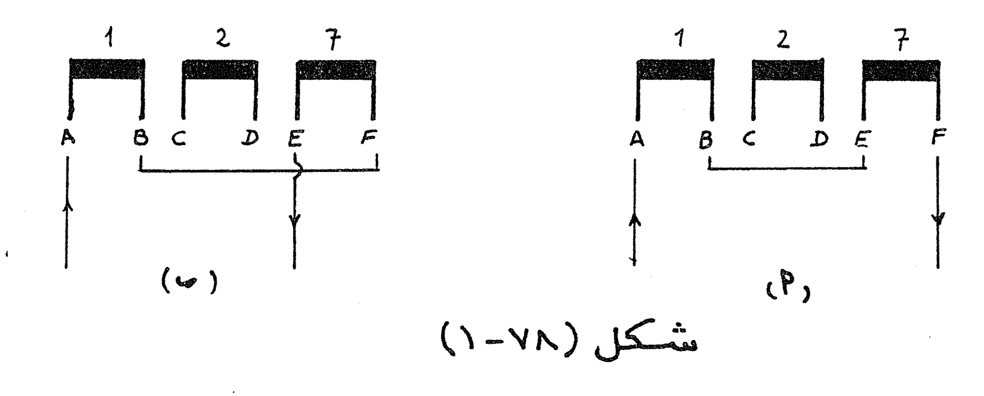
حيث :

I_1 = التيار الابتدائى

I_2 = التيار الثانوى



شكل (٧٧-١)



شكل (٧٨-١)

W_1 = عدد لفات الملف الابتدائى

W_2 = عدد لفات الملف الثانوى

v_1 = الجهد الابتدائى

v_2 = الجهد الثانوى

v= نسبة التحويل

ويوضح جدول (٩-١) جميع احتمالات توصيل الملفات للحصول على نسب التحويل المختلفة فمثلاً اول صف يعنى

نسبة التحويل : $v = 0.1765$

اطراف الملف الابتدائى : A,D

اطراف الملف الثانوى : E,O

ويتم عمل كبارى *(Linked)* بين كل طرفين *M-N & K-L & F-I & B-C*

$$\frac{\text{عدد لفات الملف الابتدائى}}{\text{عدد لفات الملف الثانوى}} = \frac{3}{17} = \frac{W_1}{W_2}$$

$$\frac{\text{أقصى تيار ابتدائى}}{\text{أقصى تيار ثانوى}} = \frac{8.8}{1.553} = \frac{I_1}{I_2}$$

من مميزات هذا النوع انه يمكن توصيله مثل المحول الذاتى حيث تقل قيمة المفقودات وترتفع الدقة (يراعى الا يكون الغرض من استخدام المحول بهذه الطريقة كدائرة فصل *(Isolation)*) .

ويوضح شكل (٧٩-١) طريقتين للحصول على النسبة *5A/3A*، احدهما باستخدام ملفين منفصلين (الطريقة التقليدية) ، والاخرى باستخدام توصيلة المحول الذاتى . فى الحالة التقليدية يستخدم ملفين منفصلين نسبة ملفاتهما *6/10* ، بينما توصيلة الملف الذاتى تستخدم ملف عدد لفاته *10* وتؤخذ نقطة تقسيم بعد اللفة السادسة ، او يستخدم ملف عدد لفاته *20* وتؤخذ نقطة تقسيم بعد اللفة الثانية عشر .

جدول (٩-١)

نسبة التحويل	أطراف المدخل / أطراف المخرج	الكباري	لفات الابتدائي / لفات الثانوي	تيار الابتدائي / تيار الثانوي	نسبة التحويل	أطراف المدخل / أطراف المخرج	الكباري	لفات الابتدائي / لفات الثانوي	تيار ابتدائي / تيار ثانوي
ü	A D / E O	B C	$\frac{W_1}{W_2}$	$\frac{I_1}{I_2}$ A max.	ü	E F / A O	B C	$\frac{W_1}{W_2}$	$\frac{I_1}{I_2}$ A max.
0.1765	AD/EO	BC FI KL MN	3/17	8.8/1.553	0.5385	EF/AO	BC DI KL MN	7/13	6.3/3.392
0.1818	CD/AM	BE FI KL	2/11	8.8/1.600	0.5454	BF/CO	AE DL MN	6/11	6.3/3.436
0.1875	AD/EO	BC FL MN	3/16	8.8/1.650	0.5556	DF/LO	CE MN	5/9	6.3/3.500
0.2000	AD/EO	BC FI KN	3/15	8.8/1.760	0.5714	CM/EF	DL	4/7	8.8/5.029
0.2143	AD/EO	BC FN	3/14	8.8/1.886	0.5833	EF/CO	DI KL MN	7/12	6.3/3.675
0.2222	CD/LO	MN	2/9	8.8/1.956	0.6000	BF/IO	AE KL MN	6/10	6.3/3.780
0.2308	AD/EO	BC FK IN	3/13	8.8/2.031	0.6250	AM/IO	BC DL KN	5/8	8.8/5.500
0.2500	AK/EO	BC DI FL MN	4/16	8.8/2.200	0.6364	EF/AO	BI KL MN	7/11	6.3/4.009
0.2667	CM/EO	DL FI KN	4/15	8.8/2.347	0.6667	AF/CO	BE DI KL MN	8/12	6.3/4.200
0.2727	AD/EO	BC FM IN KL	3/11	8.8/2.400	0.7000	EF/IO	KL MN	7/10	6.3/4.410
0.2857	AK/EO	BC DI FN	4/14	8.8/2.514	0.7143	AM/NO	BC DL	5/7	8.8/6.286
0.3000	AD/IO	BC KL MN	3/10	8.8/2.640	0.7273	AF/CO	BE DL MN	8/11	6.3/4.582
0.3077	CM/EO	DL FK IN	4/13	8.8/2.708	0.7500	BF/IO	AE KN	6/8	6.3/4.725
0.3333	AM/EO	BC DL FI KN	5/15	8.8/2.933	0.7778	EF/LO	MN	7/9	6.3/4.900
0.3571	AM/EO	BC DL FN	5/14	8.8/3.143	0.8000	AF/IO	BE KL MN	8/10	6.3/5.040
0.3750	AD/IO	BC KN	3/8	8.8/3.300	0.8182	CF/AO	BI DE KL MN	9/11	6.3/5.155
0.3847	AM/EO	BC DL FK IN	5/13	8.8/3.385	0.8333	AM/KO	BC DL IN	5/6	7.560/6.3
0.4000	DF/IO	AE BC KL MN	4/10	6.3/2.520	0.8571	AM/EF	BC DI KL	6/7	7.350/6.3
0.4286	AM/EO	BC DI FN KL	6/14	8.8/3.771	0.8750	EF/IO	KN	7/8	6.3/5.513
0.4444	AK/LO	BC DI MN	4/9	8.8/3.911	0.8889	AF/LO	BE MN	8/9	6.3/5.600
0.4545	DF/AO	BI CE KL MN	5/11	6.3/2.864	0.9000	CF/IO	DE KL MN	9/10	6.3/5.670
0.5000	BF/CO	AE DI KL MN	6/12	6.3/3.150	1.0000	AF/IO	BC DE KL MN	10/10	6.3/6.3

ويتم حساب نسبة تحويل المحول الذاتى كالآتى :

نسبة التحويل المطلوبة (مثلاً) *5A/3A*

فرق التيار *2A*

النسبة $V = \frac{2}{3} = 0.667$

بالرجوع الى جدول رقم (٩-١) نجد انه يجب توصيل كبارى بين الاطراف *C-F & M-N & K-L & D-I & B-E* وتكون اطراف المدخل والمخرج *CO/AO* وهذه التوصيله تعطى نسبة التيار *5A/3A* (نسبة الملفات *12/20*) وهذا واضح فى شكل (٨٠-١) .

ب- يوضح شكل (٨١-١) محول مساعد انتاج شركة براون بوفيرى *(BBC)* ويستخدم بتوسع فى دوائر الوقاية التفاضلية .

تكون المواصفات الفنية للمحول كالآتى :

أقصى جهد تشغيل : ١,١ ك.ف

جهد الاختبار : ٤ ك.ف ـ ٥٠ هرتز ـ لمدة دقيقة واحدة .

العبء : ٤ ڤولت أمبير ـ الدرجة *5P20* عند ٥٠ هرتز

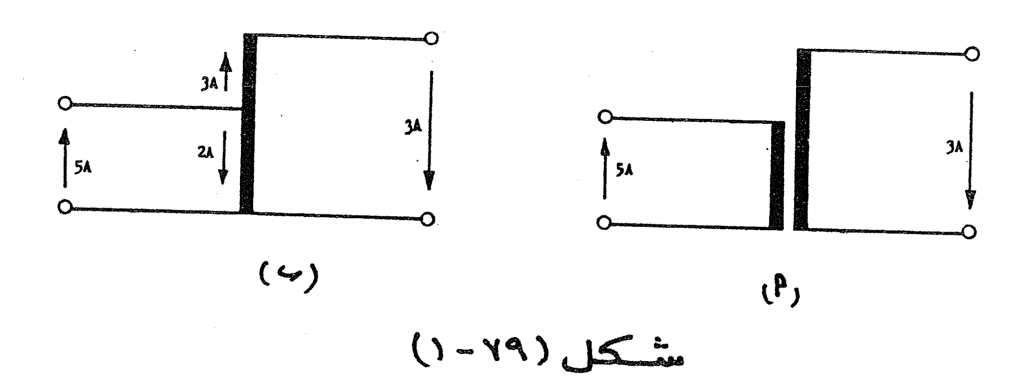
حدود التيار الابتدائى : من ٨ الى ١,٢ امبير

قيم التيار الثانوى : ٥ ، ٢,٨٩ ، ١ ، ٠,٥٧٧ امبير

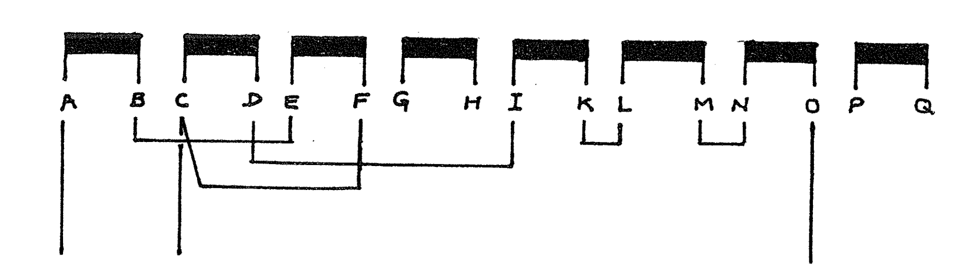
ويستخدم مع محولات التيار ذات التيار الثانوى المقنن الذى يساوى ٥ امبير

يوضح شكل (٨٢-١) تمثيل للمحول المساعد .

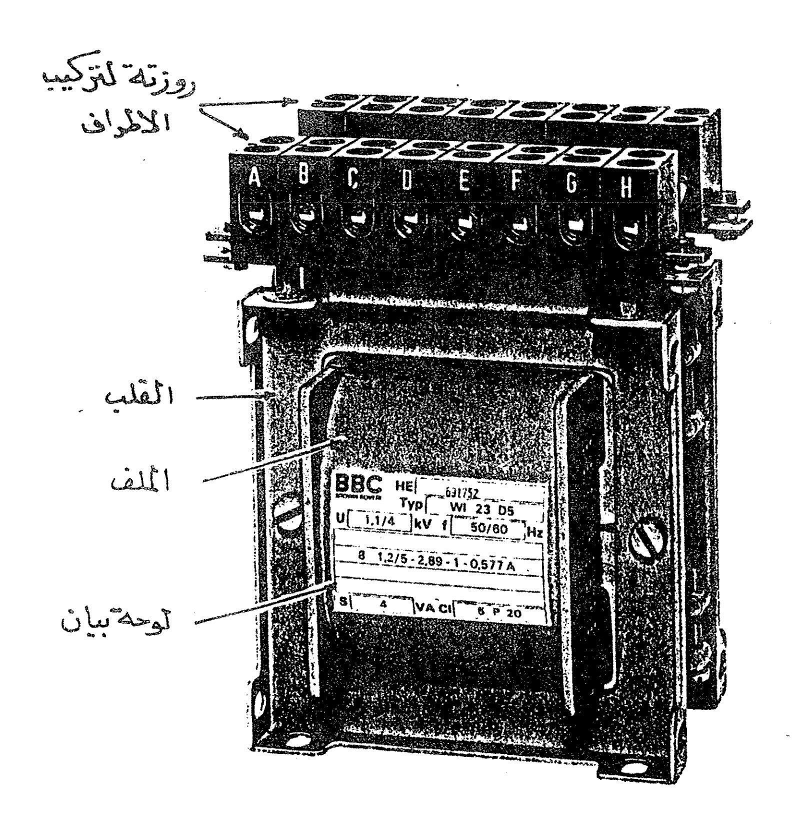
ويوضح جدول (١٠-١) جميع احتمالات نسب التحويل التى يمكن الحصول عليها من المحول المساعد حسب توصيل الاطراف للملف الابتدائى ، بينما اطراف الملف الثانوى تكون كالآتى :



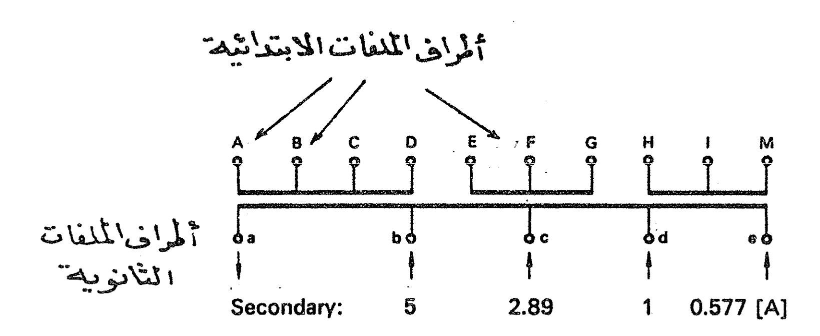
شكل (٧٩-١)



شكل (٨٠-١)



شكل (٨١-١)



شكل (٨٢-١)

الاطـــراف	التيار الثانوى المقنن (الامبير)
a - b	5 A
a - c	$\frac{5}{\sqrt{3}} = 2.89$ A
a - d	1 A
a - e	$\frac{1}{\sqrt{3}} = 0.577$ A

٢ - المحول الجمعى ودوائر التتابع

Summation transformer and sequance networks (sequence filters)

يستخدم المحول الجمعى (عادة يرمز له بالرموز *S.T*) للحصول على قيمة تيار واحدة نتيجة وجود اكثر من مدخل للتيار *(Polyphase current)* . ومن مميزاته :

– أنه يعمل كمعدة فصل *(Isolation)* بين محولات التيار *(C.T)* وبين متممات الوقاية

– يعمل على تقليل العبء *(Burden)* على محول التيار *(C.T)* بتغيير مستوى المعاوقة .

يوضح شكل (٨٣-١) أ تمثيل لمحول جمعى ، إذ يحتوى الملف الابتدائى على نقطتى تقسيم تحقق القيم *N, (N+1), (N+2)* ، وتوصل الملفات الثانوية لمحولات التيار *(C.Ts)* على اطراف الملف الابتدائى للمحول الجمعى ، كما فى شكل (٨٣-١) ب وبذلك يمر تيار الوجه *A* فى كل الملف الابتدائى (اى *N+2*)، ويمر تيار الوجه *B* فى الجزء *(N+1)* من الملف الابتدائى ، ويمر تيار الوجه *C* فى الجزء *N* من الملف الابتدائى وبذلك نحصل على مخرج تيار يساوى ناتج الجمع الاتجاهى للتيارات الثلاثة ونرى فى شكل (٨٣-١) جـ رسم المتجهات للتيارات I_A, I_B, I_C ، ويبين شكل (٨٣-١)ء ناتج الجمع الاتجاهى للتيارات غير المتزنة I_A, I_B, I_C كمدخل لمحول جمعى ويلاحظ ان جمعها

جدول (١٠-١)

التيار الابتدائي	أطراف الملف الابتدائي	الكباري		قدرة الملف الثانوي (ڤولت أمبير) عند قيم التيار الثانوي المختلفة				التيار الابتدائي	أطراف الملف الابتدائي	الكباري		قدرة الملف الثانوي (ڤولت أمبير) عند قيم التيار الثانوي المختلفة			
A	(K–L)	link 1	link 2	5	2.89	1	0.577	A	(K–L)	link 1	link 2	5	2.89	1	0.577
*1.6	F – G			3.1	2.9	2.6	2.65	0.418	C – M	A + F	G + I	2.6	2.4	2.1	2.15
*1.545	A – G	B + F		3.05	2.85	2.55	2.6	0.414	C – M	B + F	G + I	2.6	2.4	2.1	2.15
*1.485	C – G	D + F		3	2.8	2.5	2.55	0.41	D – M	C + F	G + I	2.55	2.35	2.05	2.1
*1.435	B – G	C + F		2.95	2.75	2.45	2.5	0.406	B – M	A + F	G + I	2.5	2.3	2	2.05
*1.385	A – G	C + F		2.9	2.7	2.4	2.45	0.402	F – M	G + I		2.45	2.25	1.95	2
*1.34	B – G	D + F		2.85	2.65	2.35	2.4	0.398	A – M	B + F	G + I	2.45	2.25	1.95	2
*1.295	A – G	D + F		2.8	2.6	2.3	2.35	0.394	C – M	D + F	G + I	2.4	2.2	1.9	1.95
*1.255	D – G	A + E		3.35	3.15	2.85	2.9	0.39	B – M	C + F	G + I	2.4	2.2	1.9	1.95
*1.215	D – G	B + E		3.15	2.95	2.65	2.7	0.386	A – M	C + F	G + I	2.4	2.2	1.9	1.95
1.18	C – G	A + E		2.95	2.75	2.45	2.5	0.382	B – M	D + F	G + I	2.35	2.15	1.85	1.9
1.145	C – G	B + E		2.8	2.6	2.3	2.35	0.379	A – M	D + F	G + I	2.4	2.2	1.9	1.95
1.115	D – G	C + E		2.65	2.45	2.15	2.2	0.375	D – M	A + E	G + I	2.4	2.2	1.9	1.95
1.085	B – G	A + E		2.65	2.35	2.05	2.1	0.372	D – M	B + E	G + I	2.35	2.15	1.85	1.9
1.055	E – G			2.4	2.2	1.9	1.95	0.368	C – M	A + E	G + I	2.3	2.1	1.8	1.85
1.03	A – G	B + E		2.4	2.2	1.9	1.95	0.365	C – M	B + E	G + I	2.3	2.1	1.8	1.85
1	C – G	D + E		2.35	2.15	1.85	1.9	0.362	D – M	C + E	G + I	2.25	2.05	1.75	1.8
0.98	B – G	C + E		2.35	2.15	1.85	1.9	0.358	B – M	A + E	G + I	2.25	2.05	1.75	1.8
0.955	A – G	C + E		2.3	2.1	1.8	1.85	0.355	E – M	G + I		2.2	2	1.7	1.75
0.935	B – G	D + E		2.3	2.1	1.8	1.85	0.352	A – M	B + E	G + I	2.2	2	1.7	1.75
0.912	A – G	D + E		2.25	2.05	1.75	1.8	0.349	C – M	D + E	G + I	2.2	2	1.7	1.75
0.89	C – I	B + H		3.2	3	2.7	2.75	0.346	B – M	C + E	G + I	2.15	1.95	1.65	1.7
0.873	D – I	C + H		3.1	2.9	2.6	2.65	0.343	A – M	C + E	G + I	2.15	1.95	1.65	1.7
0.855	B – I	A + H		3	2.8	2.5	2.55	0.34	B – M	D + E	G + I	2.15	1.95	1.65	1.7
0.835	H – I			2.9	2.7	2.4	2.45	0.337	A – M	D + E	G + I	2.15	1.95	1.65	1.7
0.82	A – I	B + H		2.85	2.65	2.35	2.4	0.335	C – M	B + H		2.25	2.05	1.75	1.8
0.802	C – I	D + H		2.8	2.6	2.3	2.35	0.332	D – M	C + H		2.25	2.05	1.75	1.8
0.780	B – I	C + H		2.76	2.66	2.26	2.3	0.329	B – M	A + H		2.2	2	1.7	1.76
0.772	A – I	C + H		2.7	2.5	2.2	2.25	0.326	H – M			2.2	2	1.7	1.75
0.757	B – I	D + H		2.65	2.45	2.15	2.2	0.324	A – M	B + H		2.15	1.95	1.65	1.7
0.743	A – I	D + H		2.65	2.45	2.15	2.2	0.321	C – M	D + H		2.15	1.95	1.65	1.7
0.73	D – I	A + E	F + H	2.8	2.6	2.3	2.35	0.319	B – M	C + H		2.15	1.95	1.65	1.7
0.716	D – I	B + E	F + H	2.7	2.5	2.2	2.25	0.316	A – M	C + H		2.15	1.95	1.65	1.7
0.705	C – I	A + E	F + H	2.65	2.45	2.15	2.2	0.314	B – M	D + H		2.1	1.9	1.6	1.65
0.692	C – I	B + E	F + H	2.55	2.35	2.05	2.1	0.311	A – M	D + H		2.1	1.9	1.6	1.65
0.68	D – I	C + E	F + H	2.5	2.3	2	2.05	0.309	D – M	A + E	F + H	2.15	1.95	1.65	1.7
0.67	B – I	A + E	F + H	2.45	2.25	1.95	2	0.306	D – M	B + E	F + H	2.1	1.9	1.6	1.65
0.657	E – I	F + H		2.35	2.15	1.85	1.9	0.304	C – M	A + E	F + H	2.1	1.9	1.6	1.65
0.648	A – I	B + E	F + H	2.35	2.15	1.85	1.9	0.302	C – M	B + E	F + H	2.05	1.85	1.55	1.6
0.638	C – I	D + E	F + H	2.35	2.15	1.85	1.9	0.3	D – M	C + E	F + H	2.05	1.85	1.55	1.6
0.628	B – I	C + E	F + H	2.3	2.1	1.8	1.85	0.297	B – M	A + E	F + H	2.05	1.85	1.55	1.6
0.618	A – I	C + E	F + H	2.3	2.1	1.8	1.85	0.295	E – M	F + H		2	1.8	1.5	1.55
0.608	B – I	D + E	F + H	2.25	2.05	1.75	1.8	0.293	A – M	B + E	F + H	2	1.8	1.5	1.55
0.6	A – I	D + E	F + H	2.25	2.05	1.75	1.8	0.291	C – M	D + E	F + H	2	1.8	1.5	1.55
0.59	D – I	B + F	G + H	2.3	2.1	1.8	1.85	0.289	B – M	C + E	F + H	2	1.8	1.5	1.55
0.582	C – I	A + F	G + H	2.25	2.05	1.75	1.8	0.287	A – M	C + E	F + H	2	1.8	1.5	1.55
0.574	C – I	B + F	G + H	2.2	2	1.7	1.75	0.285	B – M	D + E	F + H	1.95	1.75	1.45	1.5
0.565	D – I	C + F	G + H	2.2	2	1.7	1.75	0.283	A – M	D + E	F + H	1.95	1.75	1.45	1.5
0.558	B – I	A + F	G + H	2.15	1.95	1.65	1.7	0.281	D – M	B + F	G + H	1.95	1.75	1.45	1.5
0.55	F – I	G + H		2.1	1.9	1.6	1.65	0.279	C – M	A + F	G + H	1.95	1.75	1.45	1.5
0.543	A – I	B + F	G + H	2.1	1.9	1.6	1.65	0.277	C – M	B + F	G + H	1.95	1.75	1.45	1.5
0.535	C – I	D + F	G + H	2.05	1.85	1.55	1.6	0.275	D – M	C + F	G + H	1.95	1.75	1.45	1.5
0.528	B – I	C + F	G + H	2.05	1.85	1.55	1.6	0.273	B – M	A + F	G + H	1.9	1.7	1.4	1.45
0.521	A – I	C + F	G + H	2.05	1.85	1.55	1.6	0.271	F – M	G + H		1.9	1.7	1.4	1.45
0.515	B – I	D + F	G + H	2	1.8	1.5	1.55	0.269	A – M	B + F	G + H	1.9	1.7	1.4	1.45
0.508	A – I	D + F	G + H	2	1.8	1.5	1.55	0.268	C – M	D + F	G + H	1.9	1.7	1.4	1.45
0.502	D – I	A + E	G + H	2.1	1.9	1.6	1.65	0.266	B – M	C + F	G + H	1.85	1.65	1.35	1.4
0.496	D – I	B + E	G + H	2.05	1.85	1.55	1.6	0.264	A – M	C + F	G + H	1.85	1.65	1.35	1.4
0.49	C – I	A + E	G + H	2	1.8	1.5	1.55	0.262	B – M	D + F	G + H	1.85	1.65	1.35	1.4
0.484	C – I	B + E	G + H	2	1.8	1.5	1.55	0.261	A – M	D + F	G + H	1.85	1.65	1.35	1.4
0.478	D – I	C + E	G + H	1.95	1.75	1.45	1.5	0.259	D – M	A + E	G + H	1.85	1.65	1.35	1.4
0.472	B – I	A + E	G + H	1.95	1.75	1.45	1.5	0.257	D – M	B + E	G + H	1.85	1.65	1.35	1.4
0.467	E – I	G + H		1.9	1.7	1.4	1.45	0.256	C – M	A + E	G + H	1.85	1.65	1.35	1.4
0.462	A – I	B + E	G + H	1.9	1.7	1.4	1.45	0.254	C – M	B + E	G + H	1.85	1.65	1.35	1.4
0.456	C – I	D + E	G + H	1.9	1.7	1.4	1.45	0.252	D – M	C + E	G + H	1.8	1.6	1.3	1.35
0.451	B – I	C + E	G + H	1.85	1.65	1.35	1.4	0.251	B – M	A + E	G + H	1.8	1.6	1.3	1.35
0.446	A – I	C + E	G + H	1.85	1.65	1.35	1.4	0.249	E – M	G + H		1.8	1.6	1.3	1.35
0.441	B – I	D + E	G + H	1.85	1.65	1.35	1.4	0.248	A – M	B + E	G + H	1.8	1.6	1.3	1.35
0.436	A – I	D + E	G + H	1.85	1.65	1.35	1.4	0.246	C – M	D + E	G + H	1.8	1.6	1.3	1.35
0.432	B – M	D + E	F + I	2.65	2.45	2.15	2.2	0.245	B – M	C + E	G + H	1.75	1.55	1.25	1.3
0.427	A – M	D + E	F + I	2.6	2.4	2.1	2.15	0.243	A – M	C + E	G + H	1.75	1.55	1.25	1.3
0.423	D – M	B + F	G + I	2.65	2.45	2.15	2.2	0.242	B – M	D + E	G + H	1.75	1.55	1.25	1.3
								0.24	A – M	D + E	G + H	1.75	1.55	1.25	1.3

الاتجاهى فى هذه الحالة لايساوى صفراً . وعموماً فان عدد اللفات المستخدمة من الملف الابتدائى ، متساوية لكل من $A\text{-}B$, $B\text{-}C$ بينما عدد اللفات تكون اكثر بين الوجه C ونقطة التعادل ومن هذا نحصل على حساسية افضل خلال الاعطال الارضية (*Ground faults*).

ويتضح من الجدول (١١-١) محصلة المخرج لانواع الاعطال المختلفة .

جدول(١١-١)

نوع العطل	A-n	B-n	C-n	A-B	B-C	A-C	3-ph
محصلة المخرج عند تساوى تيار القصر	N + 2	N + 1	N	1	1	2	$\sqrt{3}$

توجد حالات معينة لايتحقق فيها الغرض المنشود من استخدام المحول الجمعى وبالاخص فى حالة حدوث عطل مركب (*Complex fault*) ، مثل حالة توزيع تيارات القصر بنسبة $2{:}1{:}1$ فى الاوجه B,C,A عند تساوى الجزئين $B\text{-}C, A\text{-}B$ فيكون ناتج مخرج المحول الجمعى مساوياً للصفر كما فى شكل (٨٤-١) .

توجد حالة اخرى وهى حدوث عطل لوجهين مع الارض (*Double earth-fault*)لنظام مؤرض من خلال مقاومة فان ناتج مخرج المحول الجمعى يكون ايضاً مساوياً للصفر كما هو واضح فى شكل (٨٥-١) .

وعموماً فان قيمة تيار المخرج بدلالة تيارات المدخل تخضع للعلاقة الآتية :

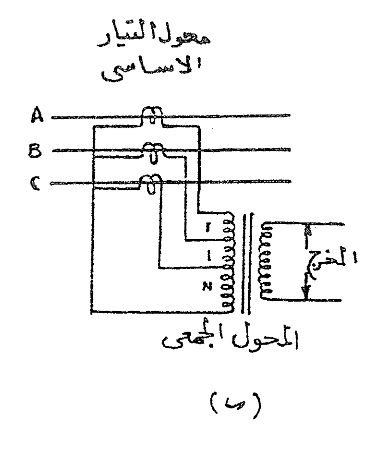
$$I_{out} = (N+2)\, I_A + (N+1)\, I_B + N\, I_C \qquad (1\text{-}1)$$

تتحلل التيارات I_C, I_B, I_A الى المركبات المتماثلة *Symmetrical components* ، ويأخذ الوجه A كمرجع (*Reference*)، فان :

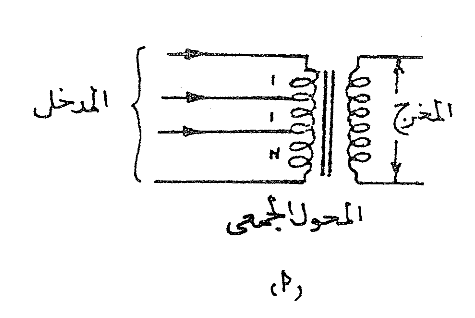
$$I_A = I_1 + I_2 + I_0$$

$$I_B = a^2 I_1 + a\, I_2 + I_0$$

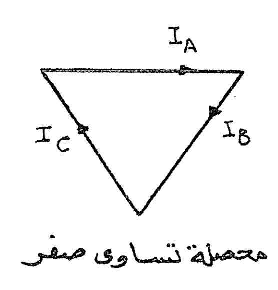
$$I_C = a\, I_1 + a^2 I_2 + I_0$$

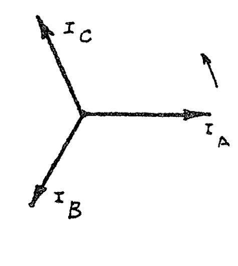


(ب)

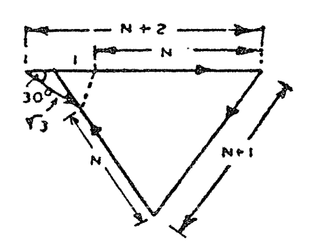


(أ)



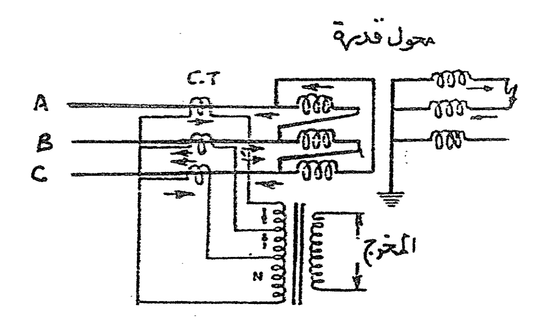


(حـ)

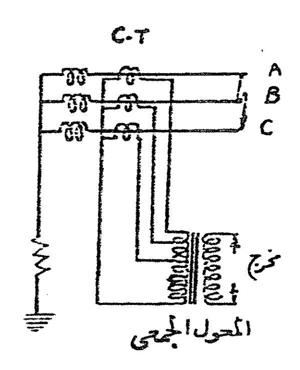


(د)

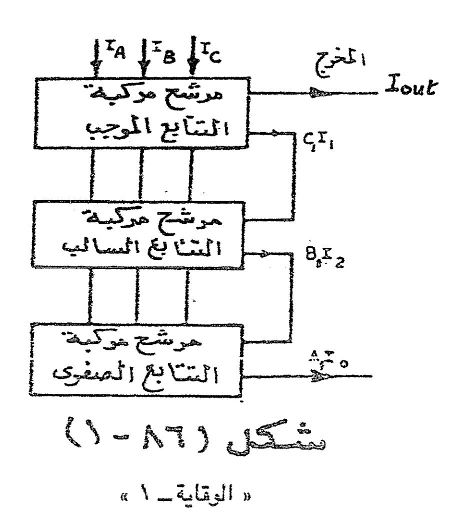
شكل (٨٣-١)



شكل (٨٤-١)



شكل (٨٥-١)



شكل (٨٦-١)

حيث

I_1 = مركبة التتابع الموجبة

I_2 = مركبة التتابع السالبة

I_o = مركبة التتابع الصفرية

a=معامل (operator)

بالتعويض فى المعادلة رقم (١-١) نحصل على :

$$I_{out} = 3(N+1)\,I_o + (2 + a^2)\,I_1 + (2+a)\,I_2$$

$$= A_1 I_o + B_1 I_1 + C_1 I_2 \qquad (2\text{-}1)$$

وعلى ذلك فان

$A_1 = 3\,(N+1)$

$B_1 = (2 + a^2)$

$C_1 = (2 + a)$

نحصل من المعادلة رقم (٢-١) على تيار المخرج من المحول الجمعى بدلالة مركبات التتابع للتيارات I_0, I_1, I_2 ، وتختلف القيم (A_1,B_1,C_1) حسب نوع القصر تبعاً لجدول رقم (١٢-١)

جدول(١٢-١)

عامل المركبة I_0 A_1	عامل المركبة I_1 B_1	عامل المركبة I_2 C_1	نوع العطل
$3\,(1+N)$	$(2+a^2)$	$(2+a)$	A-n, B-C, B-C-n
$3\,(1+N)$	$a(2+a^2)$	$a^2(2+a)$	B-n, C-A,C-A-n
$3\,(1+N)$	$a^2(2+a^2)$	$a(2+a)$	C-n, A-B, A-B-n

من جدول (١٢-١) نستنتج دائرة التتابع *(Sequence network)*، حيث نفترض

ثوابت جديدة هى :

$K_A = 3\ (N+1)$

$K_B = (2 + a^2)$

$K_C = (2 + a)$

ونحصل على جدول (١٣-١) فى حالة دائرة التتابع

جدول(١٣-١)

I_0 عامل المركبة A_1	I_2 عامل المركبة B_1	I_1 عامل المركبة C_1	نـــوع العطـــــل
K_A	K_B	K_C	A-n, B-C, B-C-n
K_A	aK_B	a^2K_C	B-n, C-A,C-A-n
K_A	a^2K_B	aK_C	C-n, A-B, A-B-n

وتصبح معادلة المخرج ايضاً :

$I_{out} = A_1\, I_o + B_1\, I_2 + C_1\, I_1$

ويمكن الحصول على هذه المعادلة باستخدام ثلاثة دوائر هى :

- مرشح مركبة التتابع الصفرى *Zero phase sequence filter* ونحصـل منـه علـى A_1I_0 .

- مرشح مركبة التتابع السالب *Negative phase sequence filter* ونحصـل منـه علـى B_1I_2 .

- مرشح مركبة التتابع الموجب *Positive phase sequence filter* ونحصـل منـه علـى C_1I_1 .

يوضح شكل (٨٦-١) تمثيل لدائرة عزل مركبات تتابع التيار *Sequence current segregation network*

ويمكن التحكم فى قيم الثوابت K_A, K_B, K_C حسب الاحتياج .

تتعرض الشبكات الكهربائية احياناً لحالات غير عادية تؤدى الى جهود او تيارات غير متزنة فى النظام ثلاثى الاوجه . وتوجد بعض متممات الوقاية التى تعمل فى حالة عدم الاتزان . حيث يتم عن طريق مرشحات مركبات التتابع الصفرى والسالب والموجب عزل كل من هذه المركبات على حدة سواء لدوائر الجهد او التيار لنظام ثلاثى الاوجه .

يستخدم مرشح مركبة التتابع السالب للتيار فى الوقاية ضد زيارة الحمل للعضو الدائر *(rotor)* بالآلات المتزامنة *(Synchronous machines)*. بينما تستخدم مرشحات مركبات التتابع الصفرى لكل من التيار والجهد فى الوقاية الاتجاهية ضد الاعطال الارضية . ويستخدم مرشح مركبة التتابع الموجب للتيار فى دوائر القياس لمتممات بداية التحميل *(Carrier starting relay)* بالاضافة الى استخدام مرشحات مركبات التتابع السالب والموجب والصفرى لاجهزة الوقاية المسافية ذات الاوجه المتعددة *(Polyphase distance relay)*.

ونلاحظ فى شكل (٨٧-١) مرشح مركبة التتابع السالب للتيار وتتكون الدائرة من محولى تيار مساعد ، يحتوى كل منهما ، على ثلاثة ملفات ابتدائية : اثنين متساويين فى عدد اللفات والاخر له ضعف عدد اللفات .

وتكون العلاقة بين مكونات الدائرة الثانوية كالآتى

$$R_t = \frac{R}{2}$$

$$Xc = -j\,\frac{\sqrt{3}}{2}\;R$$

وعلى ذلك تكون المعاوقة *(Z)* تساوى

$$Z = \frac{R}{2} - J\,\frac{\sqrt{3}}{2}\,R$$

او

$$Z = -aR$$

واذا كانت نسبة تحويل المحول المساعد تساوى K فان التيارات فى الملف الثانوى تكون :

$$I_x = \frac{1}{K}(2I_a - I_b - I_c)$$

$$-I_y = \frac{1}{K}(2I_c - I_b - I_a)$$

وعند اتزان النظام تكون العلاقة بين التيارات I_c , I_b , I_a هى

$$\bar{I_a} + \bar{I_b} + \bar{I_c} = 0$$

وتصبح قيم التيارات الثانوية كالآتى :

$$I_x = 3\, I_a / K$$

$$I_y = -3\, I_c / K$$

ويكون الجهد خلال المعاوقة Z يساوى

$$V_x = I_x Z$$

$$= \frac{3\, I_a}{K}(-aR) = \frac{-3a\, I_a R}{K}$$

وحيث ان $I_c = a\, I_a$ فان

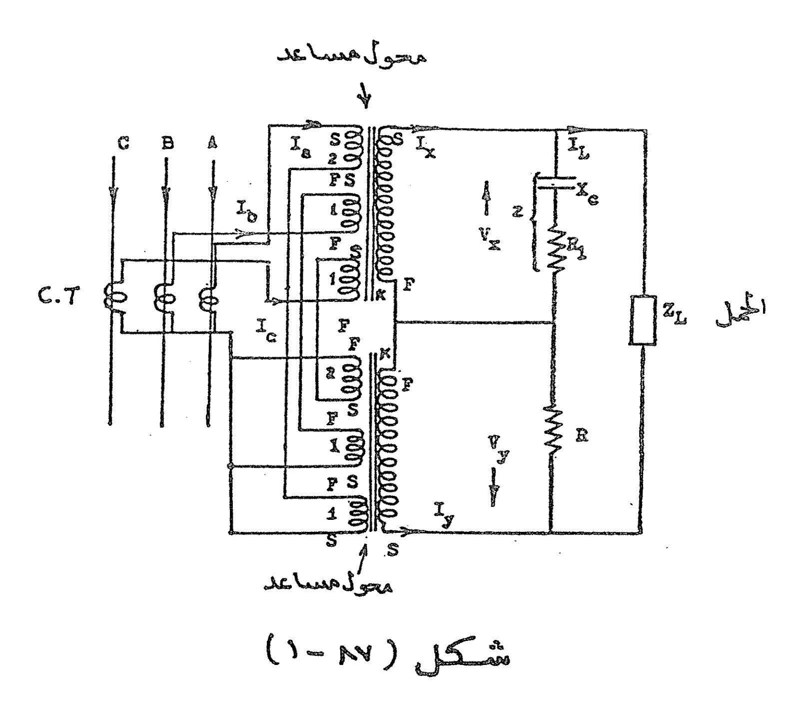
$$V_x = \frac{-3\, I_c R}{K}$$

ويكون الجهد خلال المقاومة R يساوى

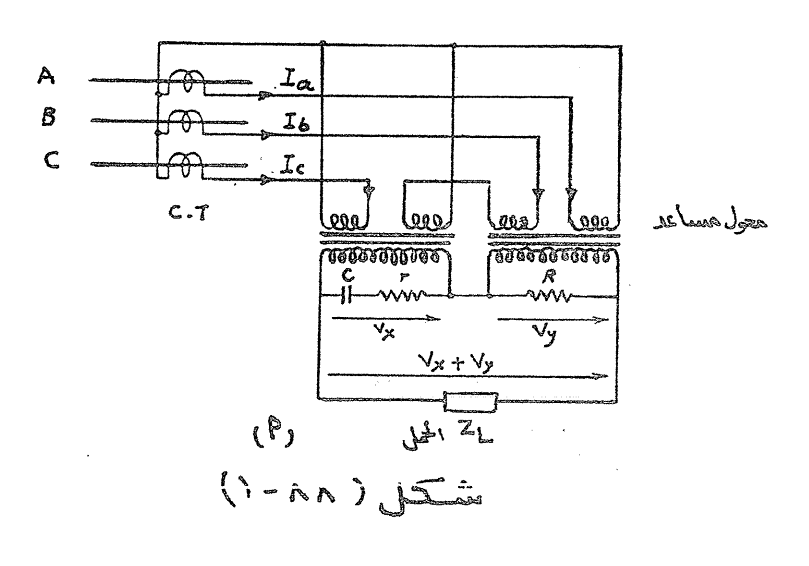
$$V_y = I_y R$$

$$= \frac{3\, I_c R}{K}$$

وعلى ذلك يكون ناتج الجهد بين طرفى الحمل (المقاومة Z_L) هو مجموع الجهدين V_y , V_x ومن المعادلتين السابقتين يتضح ان V_y , V_x متساويتين فى المقدار ومختلفتين فى الاشارة وبذلك يكون الناتج مساوياً للصفر فى حالة اتزان النظام .



شكل (٨٧ - ١)



شكل (٨٨ - ١)

فى حالة عدم اتزان النظام فان التيارين I_y, I_x ينقسمان بين معاوقة الدائرة وبين معاوقة المرشح (Z_L) ، ولحساب تيار المخرج I_L يحلل التيارين I_y, I_x اولاً كالآتى :

$$I_a = I_1 + I_2 + I_o$$

$$I_b = a^2 I_1 + aI_2 + I_o$$

$$I_c = a I_1 + a^2 I_2 + I_o$$

حيث I_o, I_2, I_1 مركبات التتابع الموجب والسالب والصفرى للتيار

وبالتعويض فى معادلتى I_y, I_x بمركبات التتابع للتيار نجد ان :

$$I_x = \frac{1}{K}\ (2I_1 + 2I_2 - a^2I_1 - aI_2 - aI_1 - a^2I_1)$$

$$-I_y = \frac{1}{K}\ (2aI_1 + 2a^2I_2 - a^2I_1 - aI_2 - I_1 - I_2)$$

$$I_L = \frac{Vx + Vy}{Z + R + Z_L}$$

$$I_L = \frac{-a R I_x - RI_y}{Z + R + Z_L}$$

وبالتعويض بقيم I_y, I_x بدلالة مركبات التتابع للتيار نحصل على :

$$I_L = \frac{3R(a^2 - a)}{K(Z+R+Z_L)}\ I_2 \quad = \quad \frac{-j\, 3\sqrt{3}\, R}{K(Z+R+Z_L)}\ I_2$$

وعلى ذلك فان تيار مخرج المرشح يتناسب مع مركبة التتابع السالب (I_2) لتيار النظام . ويمكن استخدام نفس الدائرة كمرشح للحصول على مركبة التتابع الموجب لتيار النظام بتغيير المكثف *(Condenser)* بملف حثى *(Inductor)* له قيمة تساوى .

$$X_L = j\ \frac{\sqrt{3}}{2}\ R$$

ويوضح شكل (٨٨ -١) أ دائرة اخرى لمرشح مركبة التتابع السالب ولكن باستخدام

محولى تيار مساعد يحتوى كل منهما على ملفين ابتدائيين ، وتكون قيمة c,r بحيث تعطى زاوية ازاحة تساوى ٦٠° ، بينما يبين شكل (٨٨-١) ب رسم متجهات تيارات التتابع الموجب ومنها يتضح ان محصلة الجهد V_x+V_y الناتج على ملف المتمم ، يساوى صفراً .

وبملاحظة شكل (٨٨-١) جـ نجد رسم متجهات تيارات التتابع السالب ومنها يتضح ان ناتج الجهد $V_x + V_y$ يستخدم لتشغيل المتمم .

ويوضح شكل (٨٩-١) نوع اخر من دائرة مركبة التتابع السالب وتتكون الدائرة من قنطرة ، كل فرعين فيها متماثلين . وتعمل الدائرة فى بعض حالات عدم الاتزان مثل حالة فتح فى احد موصلات الدائرة *(Broken conductor)*.

ويعتبر الحصول على مركبة التتابع الصفرى للتيار من أبسط الدوائر (المرشحات) ، حيث تستخدم ثلاثة محولات تيار متصلة على التوازى ، كما فى شكل (٩٠-١)أ ، على نظام ثلاثى الاوجه ويكون ناتج التيار كالآتى :

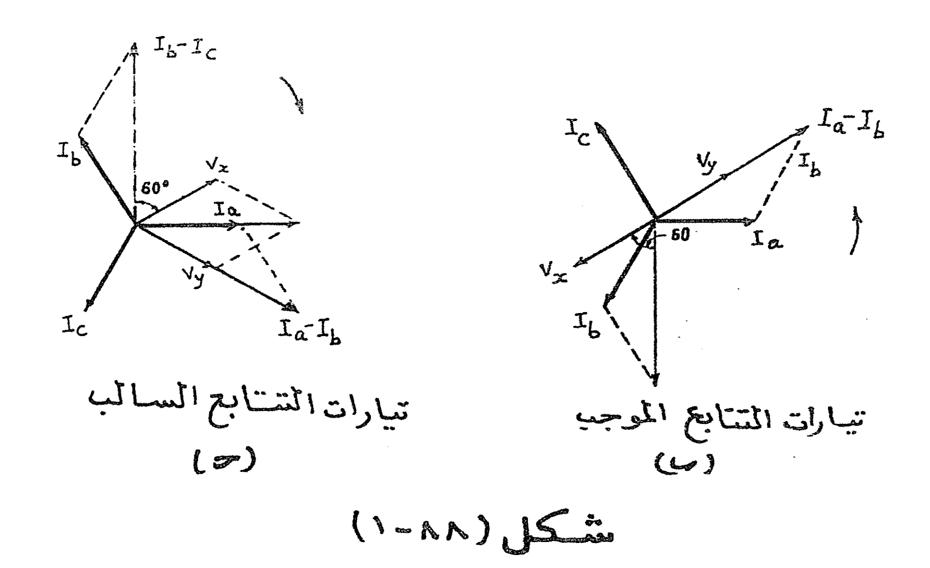
$$\begin{aligned} I_L &= I_a + I_b + I_c \\ &= (I_1+I_2+I_o) + (a^2I_1 + aI_2 + I_o) + (aI_1 + a^2I_2 + I_o) \\ &= I_1(1+a+a^2) + I_2(1+a+a^2) + 3\,I_o \\ &= 3\,I_o \end{aligned}$$

(يلاحظ ان $1+a+a^2=0$)

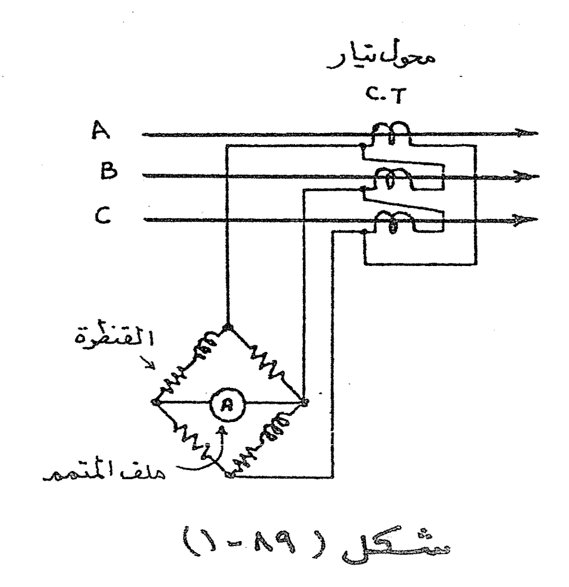
وعلى ذلك فان تيار مخرج المرشح يتناسب مع مركبة التتابع الصفرى لتيار النظام ونحصل على نفس العلاقة ايضاً من الملف الثانوى لمحول تيار مركب على نقطة التعادل لنظام موصل على شكل نجمة Y ، كما فى شكل (٩٠-١) ب .

يوضح شكل (٩١-١) دائرة مرشح نحصل منها تيار مخرج يتناسب مع مركبتى التتابع السالب والصفرى ، وتتكون من قنطرة ، كل فرعين فيها متماثلين ، وعند مرور التيارات I_a , I_b , I_c غير المتزنة نحصل على تيار مخرج I_L كالآتى :-

معاوقة الفرعان المحتويان على مركبة من مقاومة وممانعة تساوى



شكل (٨٨-١)



شكل (٨٩-١)

$$\frac{R}{2} + J\ \frac{\sqrt{3}}{2}\ R = -\ a^2 R$$

$$I_L = I_b + \frac{(-\ a^2R)}{(1\ -\ a^2)\ R}\ I_a + \frac{R}{(1-a^2)R}\ I_c$$

وبالتعويض بمركبات التتابع الموجب والسالب والصفرى لتيار النظام نحصل على

$$I_L = a\bar{I}_2 + 2\ I_o$$

اى ان تيار مخرج المرشح يتناسب مع مركبتى التتابع السالب والصفرى للتيار . وفى حالات عدم الاحتياج للتأريض *(grounding)* كما فى حالة ارتفاع درجة حرارة العضو الدوار بالمولد نتيجة عدم اتزان الحمل ، فان مركبة التتابع الصفرى تساوى صفر ويصبح تيار مخرج المرشح يتناسب مع مركبة التتابع السالب فقط . وتعرف الدائرة فى شكل (٩١-١) بمرشح تيار عدم الاتزان *(Unbalance current filter)* كما توجد دوائر مختلفة تعمل كمرشحات لمركبات التتابع السالب والموجب والصفرى لجهود النظام ، ويوضح شكل (٩٢-١) مرشح للحصول على مركبة التتابع الموجب للجهد . ويمثل كلا من المكثف C والمقاومة معاوقة تساوى $[R - j\ (1/wc)]$ اى تساوى $(-aR)$

ويكون جهد المخرج V يساوى :

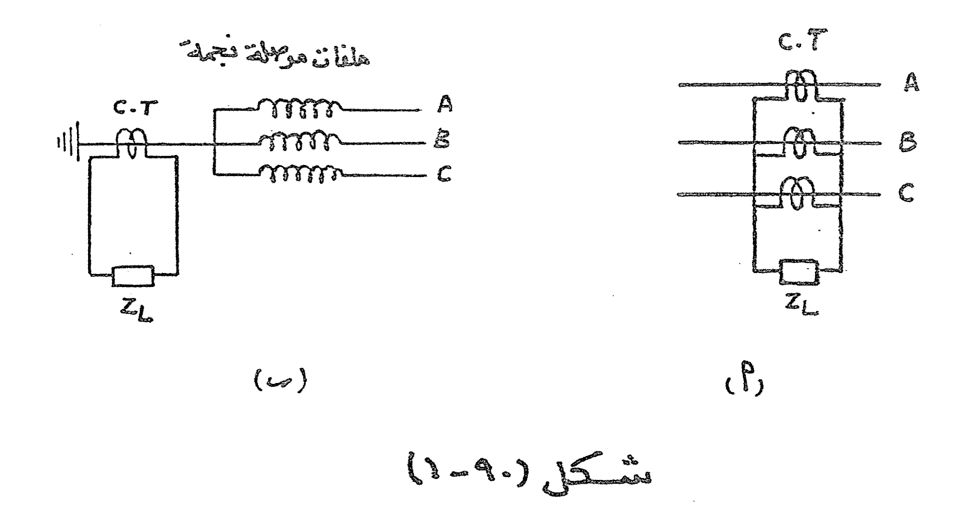
$$V = V_a - V_x$$

$$I = \frac{V_{bc}}{-\ aR}$$

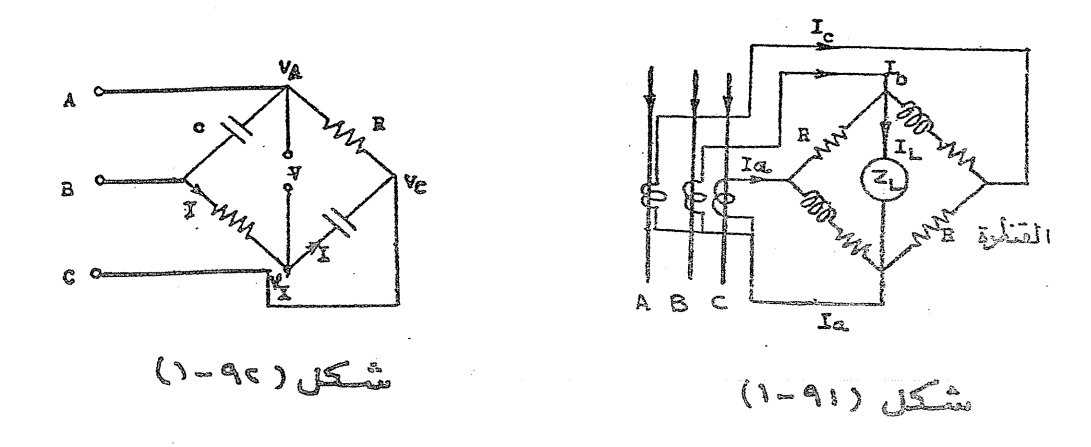
$$V_x = V_b - \frac{V_{bc}}{-aR}\ \ R$$

اى ان V_x تساوى

$$V_x = V_b - \frac{V_c - V_d}{-a} = V_b - \frac{V_c - V_d}{a}$$



شكل (٩٠-١)



شكل (٩٢-١)

شكل (٩١-١)

ويصبح جهد المخرج

$$V = V_a - V_b + \frac{V_c - V_b}{a}$$

$$= V_a + a V_b + a^2 V_c$$

$$= V_1 + V_2 + V_o + a(a^2 V_1 + aV_2 + V_o) + a^2 (a V_1 + a^2 V_2 + V_o)$$

$$= V_1 + a^3 V_1 + a^3 V_1 + V_2 (1 + a^2 + a) + V_o (1 + a^2 + a)$$

وحيث ان :

$$1 + a^2 + a = 0 , a^3 = 1 , a^4 = 1$$

وبذلك نحصل على مخرج جهد يساوى

$$V = 3V_1$$

اى ان المخرج يساوى ثلاثة امثال مركبة التتابع الموجب لجهد النظام وللحصول على مخرج يتناسب مع مركبة التتابع السالب لجهد النظام يمكن تبديل طرفى الوجهين *c,b* فى الدائرة بشكل (٩٢-١) .

توجد طرق متعددة للحصول على مخرج يتناسب مع مركبة التتابع الصفرى للجهد ، وفى جميع هذه الطرق يمكن استخدام محولات الجهد كالآتى :-

يبين شكل (٩٣-١) أ طريقة توصيل ثلاثة محولات جهد احادية الوجه *(3single - phase voltage transformer)*، حيث توصل الملفات الابتدائية على شكل نجمة *(star)* مؤرضة بينما توصل الملفات الثانوية على شكل دلتا مفتوحة *(Open delta)*.

وبذلك تكون معادلة جهد المخرج :

$$V = \overline{V_a} + \overline{V_b} + \overline{V_c}$$

$$= V_1 + V_2 + V_o + (a^2 V_1 + aV_2 + V_o) + (a V_1 + a^2 V_2 + V_o) = 3V_o$$

ويوضح شكل (٩٣-١) ب طريقة توصيل ثلاثة محولات جهد احادية الوجه موصلة نجمة / نجمة *(Yy)* وفيه يغذى محول جهد مساعد ذو قلب له خمسة سيقان *Auxiliary 5-limb transformer* (متصل على شكل نجمة / دلتا مفتوحة) من الملف الثانوى

لمحولات الجهد الرئيسية ، وبذلك نحصل على مخرج جهد المحول المساعد متناسب مع مركبة التتابع الصفرى .

ويوضح شكل (٩٣-١) جـ طريقة توصيل محولى جهد متصلين على شكل حرف *(V)* بالاضافة الى محول جهد متصل بالارض ، ويغذى مخرج المحولات الثلاثة محول جهد مساعد ذو قلب له خمسة سيقان ، وبذلك نحصل على جهد يتناسب مع مركبة التتابع الصفرى .

ويوضح شكل (٩٣-١) ء طريقة توصيل ثلاثة محولات جهد احادية الوجه متصلة نجمة / نجمه *(Yy)* بالاضافة الى محول جهد على نقطة التعادل ، ونحصل من هذا المحول على مخرج جهد يتناسب مع مركبة التتابع الصفرى .

ويوضح شكل (٩٣-١) هـ طريقة توصيل محول جهد ثلاثى الاوجه ، ذو قلب له خمسة سيقان ، ونحصل على مخرج جهد ، من الطرفين *a,b* ، يتناسب مع مركبة التتابع الصفرى .

ويوضح شكل (٩٤-١) تجميع لدوائر التتابع الموجب والسالب الصفرى والتى تغذى الدوائر الثانوية لمحولات التيار ويكون مخرج الدائرة بدلالة مكونات مركبات التتابع الموجب والسالب والصفرى .

وفيما يلى مثال لتوضيح فكرة المحول الجمعى .

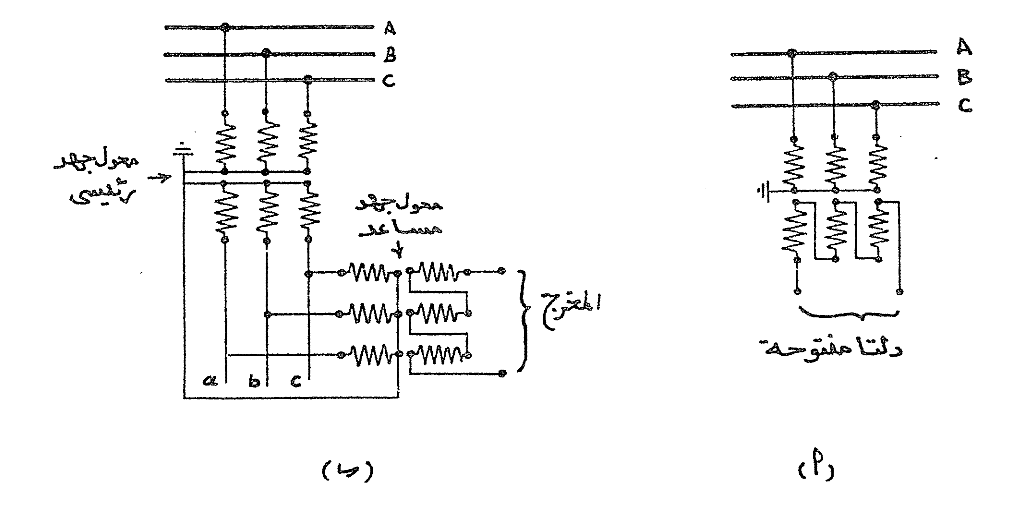
مثال :

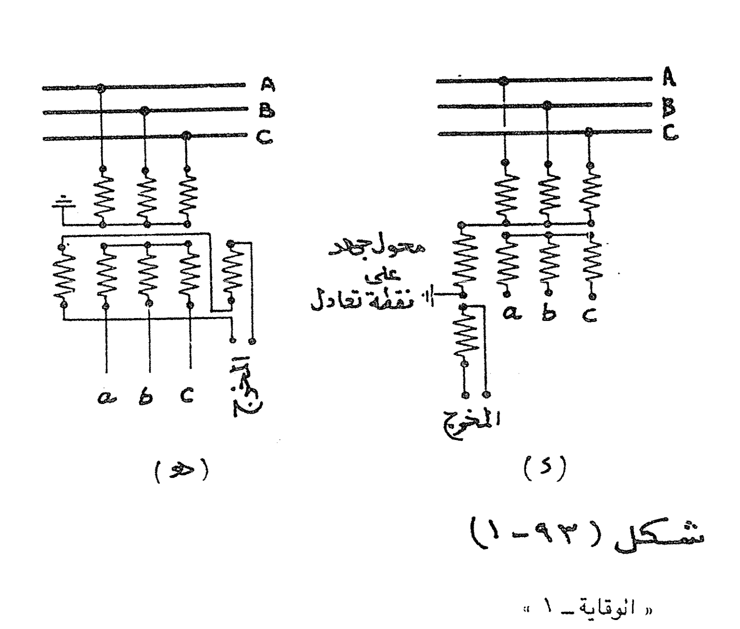
يغذى متمم وقاية من مخرج محول جمعى متصل بنظام ثلاثى الاوجه غير متماثل ولو فرضنا ان الوجه C هو المرجع وان $I_{c1} = I_{c2}$ فإن المطلوب ايجاد اقل قيمة للرمز n اذا كانت نسبة المحول الجمعى $n : 1.3 : 1$ على فرض الحفاظ على المخرج الموجب عندما $(I_{c1}/I_{co}=4)$

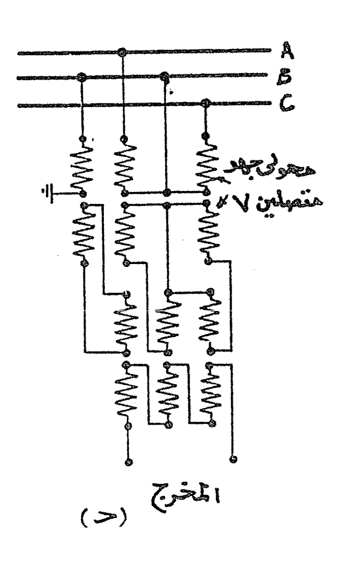
وماهو التأثير على القيمة n اذا اصبحت النسبة $1:1:n$

الحل :

على فرض ان نسبة تقسيم الملف الابتدائى للمحول الجمعى هى $t : m : n$


A
B
C
محول جهد
رئيسي
محول جهد
مساعد
المخرج
a b c
دلتا مفتوحة
(ب)
(أ)


A
B
C
a b c
المخرج
محول جهد
على
نقطة تعادل
(هـ)
(د)


A
B
C
محول جهد
متصلين V
المخرج
(ج)

شكل (٩٣-١)

هى كما فى شكل (٩٥-١) وباعتبار الوجه C هو المرجع فان

$$I_C = I_{c1} + I_{c2} + I_o$$

$$I_A = a^2 I_{c1} + a I_{c2} + I_o$$

$$I_B = a I_{c1} + a^2 I_{c2} + I_o$$

امبير لفات المخرج $= I_A (l + m + n) + I_B(m+n) + I_c n$

بالتعويض بمركبات التتابع الموجب والسالب والصفرى للتيارات I_A, I_B, I_C فان

امبير لفات المخرج $= I_o (l+2m+2n) - I_{c1} (a^2 l-m) + I_{c2} (al-m)$

وحيث ان $I_{c1} = I_{c2}$ فإن

امبير لفات المخرج $= I_o (l + 2m + 3n) - I_{c1}(2m+l)$

ويكون امبير ـ لفات المخرج يساوى صفراً عندما تكون النسبة

$$l : m : n = 1 : 1.3 : n$$

اى $m = 1.3 , l = 1$

اى ان

امبير لفات المخرج $= I_o (3.6+3n) - 3.6 I_{c1} = 0$

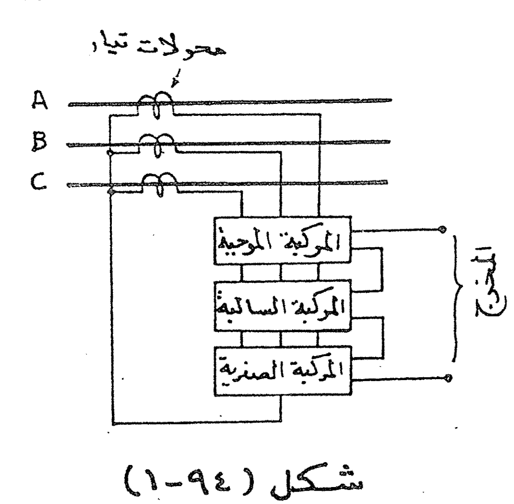
$$n = \frac{3.6}{3} \left(\frac{I_{C1}}{I_{co}} - 1 \right)$$

بالتعويض بقيمة $(I_{c1} / I_{co} = 4)$ نحصل على $n = 3.6$

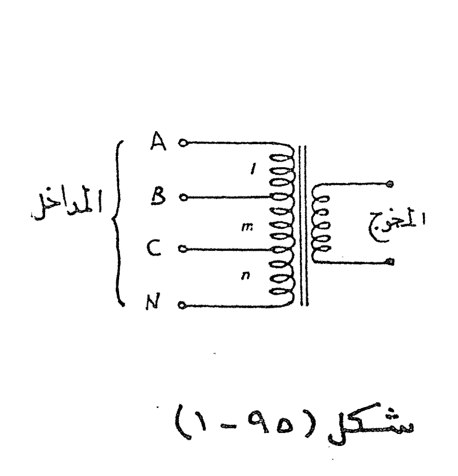
فإذا كانت النسبة $l:m:n = 1:1:n$

فإن   أمبير لفات المخرج $= I_O (3+3n) - 3 I_{C1} = 0$

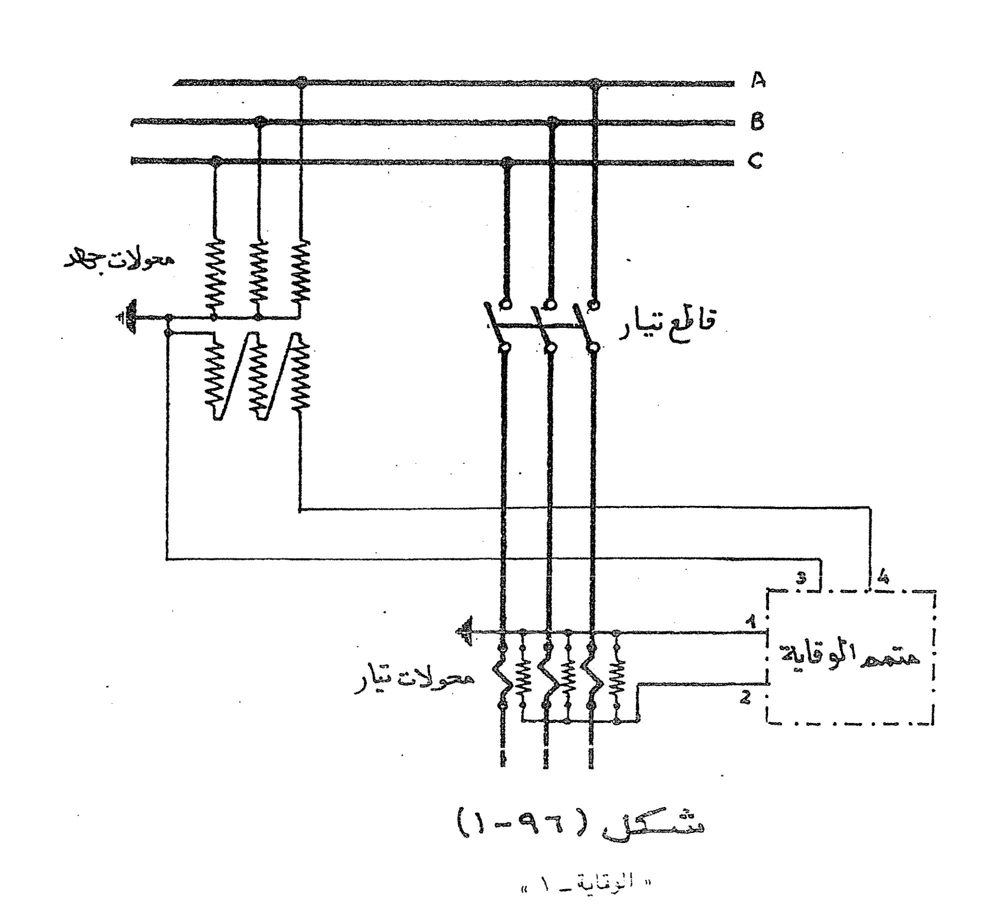
بالتعويض بقيمة $(I_{c1} / I_{co} = 4)$ نحصل على $n=3$



شكل (٩٤-١)



شكل (٩٥-١)



شكل (٩٦-١)

أمثلة تطبيقية لاستخدام مركبتى التعاقب الصفرى للتيار والجهد فى متممات الوقاية :

يوضح شكل (٩٦-١) متمم وقاية يحتاج تشغيله لمركبة التتابع الصفرى للجهد والتى نحصل عليها من مخرج محول الجهد الموصل على شكل نجمة / دلتا مفتوحة ويغذى المتمم فى الطرفين *(3-4)* بالاضافة الى مركبة التتابع الصفرى للتيار والتى نحصل عليها من توصيلة الملفات الثانوية ، لمحولات التيار المركبة على الثلاثة اوجه ، على التوازى ويغذى المتمم فى الطرفين *(1-2)* .

ويوضح شكل (٩٧-١) متمم وقاية يغذى ايضاً بمركبة التتابع الصفرى للتيار فى الطرفين *(1-2)* ويغذى بمركبة التتابع الصفرى للجهد بالطرفين *(3-4)*.

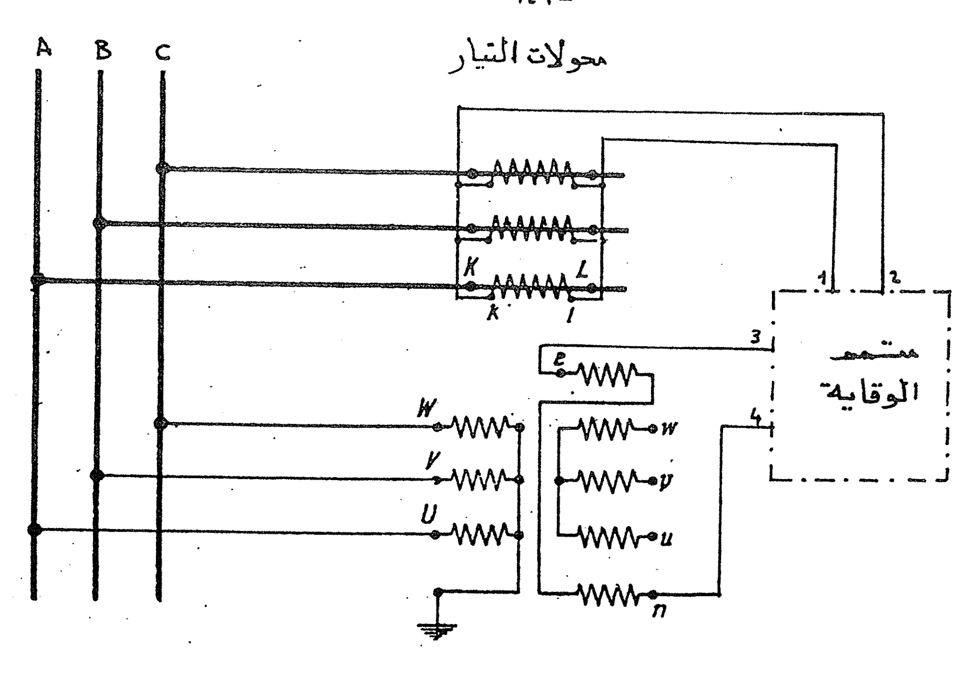
ويوضح شكل (٩٨-١) متمم وقاية يغذى بمركبة التتابع الصفرى للتيار ، من خلال الملف الثانوى لمحول تيار حلقى مركب على الكابل ، فى الطرفين *(1-2)* ويغذى بمركبة التتابع الصفرى للجهد بالطرفين *(3-4)*.

٣ - محولات الخلط *Mixing transformers*

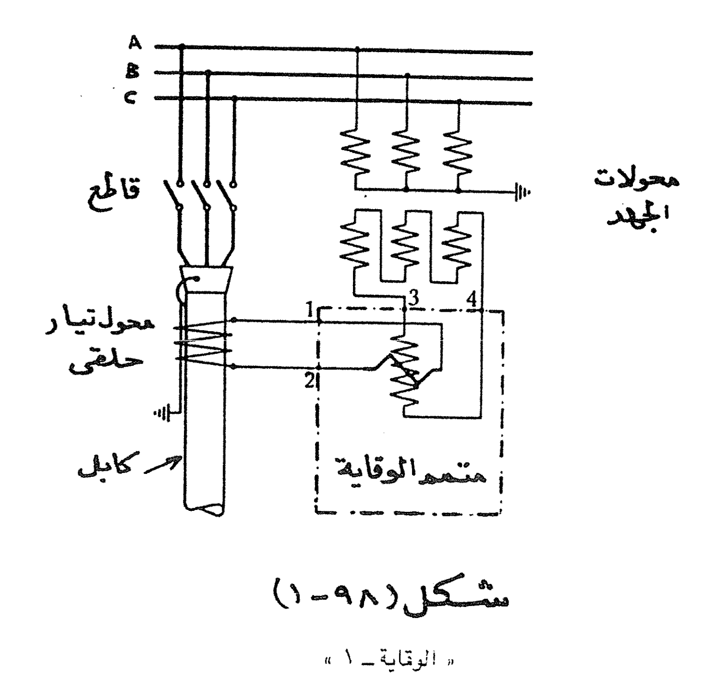
تحتاج اجهزة الوقاية احياناً لتوليفة من تيارات او جهود المدخل او كليهما معاً ونحصل على التوليفة من محولات الخلط . وتحقق محولات الخلط ميزتين اساسيتين احداهما الحصول على خصائص مناسبة للكميات المركبة (المولفة) والثانية اعتباره معدة فصل *(Isolation)* كهربية ، بين المدخل والمخرج .

وتوجد خصائص معينة لمحولات الخلط لاستخدامه لهذا الغرض ، فعادة تكون محولات الخلط من النوع ذى الثغرة الهوائية *(Air-gap transformers)* وذلك لتقليل تأثير التشبع *(Saturation)* والحصول على خاصية خطية *(Linearity)* بين المدخل والمخرج (منحنى التشبع) ومن خصائصه ايضاً ان المحاثة التبادلية *(Mutual inductance)* بين ملفات المحول ، تكون ذو قيمة كبيرة . وتكون كميات المدخل عبارة عن تيارات او جهود وباضافة معاوقة على التوالى او على التوازى يتم تحويل تيار المدخل الى جهد او جهد المدخل الى تيار .

ويوضح شكل (٩٩-١) أ طريقة توصيل الملفين الثانويين لمحولى تيار والحصول منهما على الجمع الاتجاهى للكمية $\bar{I}_1 + \bar{I}_2$



شكل (٩٧-١)



شكل (٩٨-١)

ويوضح شكل (٩٩-١) ب محول تيار يحتوى على ملفين ابتدائيين يمر بهما التيارين I_1 , I_2 ونحصل على الجمع الاتجاهى للكمية $\bar{I_1} + \bar{I_2}$ من الملف الثانوى للمحول .

ويوضح شكل (١٠٠-١) أ محول جهد يحتوى على ملفين ابتدائيين مسلط عليهما الجهدين V_1 , V_2 ونحصل على الجمع الاتجاهى للكمية $\bar{V_1} + \bar{V_2}$ من الملف الثانوى للمحول ويوضح شكل (١٠٠-١) ب محول يحول الجهد الى تيار عن طريق توصيل معاوقة Z ، ذات قيمة عالية ، على التوالى مع الملف الثانوى للمحول ونحصل على تيار مخرج يساوى $I = V / Z$

يوضح شكل (١٠١-١) أ محول تيار ، يمكن الحصول منه على جهد نتيجة مرور تيار به ، وذلك بتوصيل معاوقة ، Z ذات قيمة صغيرة ، على التوازى مع الملف الثانوى للمحول ونتيجة مرور التيار I ، بالملف الثانوى نحصل على جهد مخرج يساوى $V=IZ$.

ويوضح شكل (١٠١-١) ب محول عزل للحصول على جهد مخرج بدلالة تيار المدخل تبعاً للمعادلة .

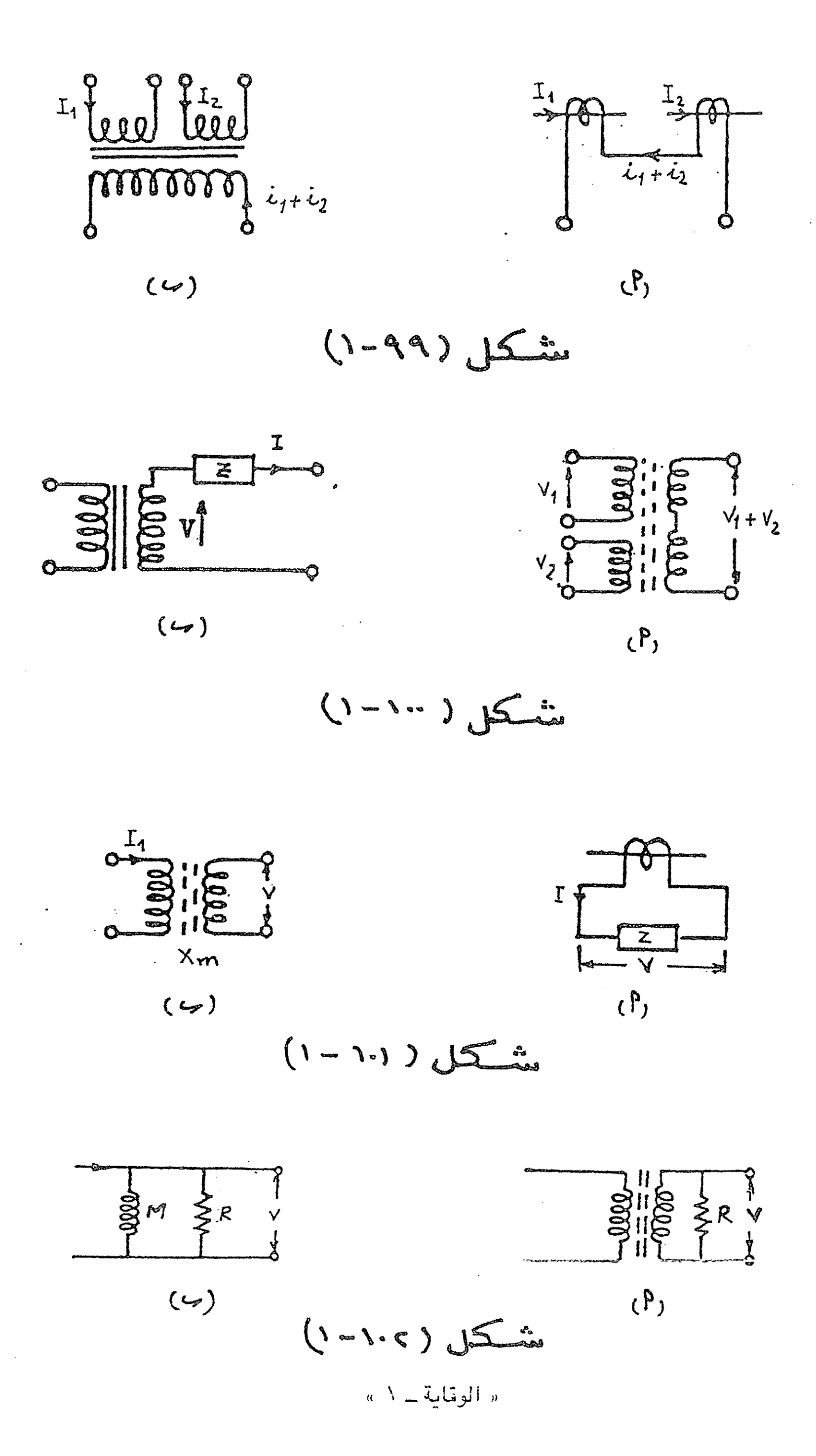
$$V = I_1 X_m$$

٤- المعاوقة البديلة *Replica impedance*

عبارة عن محول يحتوى على قلب ذى ثغرة هوائية (*air-gap*) ، ومن اهم خصائصة استخدامه كفاصل كهربى بين المدخل والمخرج ، والحصول منه على جهد نتيجة تيار مدخل .

تعتبر هذه المعاوقة مركبة من ممانعه *Reactor* ومحول *Transformer* وتدمج فى كلمة واحد هى *Transactor*

ويوضح شكل (١٠٢-١) أ تمثيل المعاوقة البديلة بينما يوضح شكل (١٠٢-١) ب الدائرة المكافئة لها . ونتيجة انخفاض التشبع بالقلب فإنه يهمل فيض التسرب التسرب (*Leakage Flux*) وعلى ذلك تكون معادلة معاوقة التحويل هى :



شكل (٩٩-١)

شكل (١٠٠-١)

شكل (١٠١-١)

شكل (١٠٢-١)

$$Z = \frac{V}{I} = \frac{j\omega MR}{R + j\omega M}$$

ويمكن الحصول على قيم مختلفة للمعاوقة وايضاً زاوية مختلفة نتيجة تغيير قيمة المقاومة (R).

الباب الثانى

١ - متممات الوقاية الكهرومغناطيسية *Electromagnetic protective relays*

١ - مكونات متممات الوقاية الكهرومغناطيسية

تتكون متممات الوقاية الكهرومغناطيسية من الغلاف ، وملف او اكثر ، ونقط تلامس ووسائل ضبط قيم التشغيل .. والاجزاء المتحركة وفيما يلى توضيح مختصر لكل منهم :

١ - الغلاف والقاعدة *Case & Base*

الغلاف عبارة عن صندوق يحتوى على جميع عناصر المتمم وله غطاء قابل للرفع ، وأغلب المتممات ، لمصنع او انتاج محدد ، تكون لها نفس العمق والعرض ويختلف الطول حسب العناصر المكونة .

يصنع الغلاف فى بعض انواع المتممات صغيرة الحجم من البلاستيك الشفاف النقى جداً بحيث يكشف جميع محتويات المتمم ، وفى بعضها الاخر نجد ان الواجهه الامامية للغلاف هى المصنوعة من مادة شفافه تكشف الواجهه الداخلية للمتمم . ويثبت الغلاف فى القاعدة بمسمارين (مثلاً) .

وغالباً ماتكون القاعدة مصنوعة من الصلب المغطى بالراتنج الفينولى *(Phenolic)* وتحتوى على اماكن لربط الاسلاك او اطراف لتوصيل الاسلاك *(Terminal strip)* (واحياناً يطلق عليها *Rosette*) ، وتكون مكونات المتمم الداخلية ثابته فى القاعدة ، ونتبين هذا من شكل (١-٢) والذى يوضح متمم وقاية ضد زيادة التيار انتاج المانيا الشرقية German Democratic Republic يستخدم للتركيب على وجه *(Phase)* واحد .

كما يوضح شكل (٢-٢) نوع آخر عبارة عن متمم وقاية ضد زيادة التيار يستخدم للتركيب على الثلاثة اوجه *(3 - Phase)* انتاج شركة سيمنز *(Siemens)* وفيه يكون جسم الغطاء مصنوع من معدن مغلف بمادة عازلة وله واجهه من الزجاج ويمكن رفع الغطاء عن طريق اربعة مسامير ، وجميع المكونات مثبته على القاعدة مع امكانية تحريك جزء منها الى الامام بعد رفع الغطاء كما فى شكل (٣-٢) والذى يوضح المتمم بدون غطاء، وموضوع افقياً (بينما وضع التركيب الصحيح يكون رأسياً كما فى شكل (٢-٢)) ويمتاز المتمم الذى يمكن تحريك جزء من مكوناته ، بسهوله عمل اصلاح او تغيير لبعض

الاجزاء العاطلة او عمل مراجعة للاطراف الداخلية بالمتمم .

وتجهز المتممات الحديثة بحيث تسمح بخروج جميع مكونات المتمم ، والتى تكون مجمعه على حامل صلب *(Steel cradle)* قابل للسحب وهو مايعرف بوحدة السحب الى الخارج للمتمم *(Relay Drawout Unit)* ، بحيث يسحب هذا الحامل بمكونات المتمم تاركاً الغلاف . ويكون الغلاف مجهزاً ضد الاتربة ومصنوع من صبة من خليط من الالومنيوم والصلب ، ويصنع حالياً من البلاستيك ، ويمتاز هذا النوع بامكانية اختبار وصيانه المتمم بدون فصل التغذية الكهربائية ، حيث يتم اخراج المتمم المراد اختبارة ويوضع مكانه متمم من نفس النوع قد سبق اختباره . وتوجد اطراف ربط الاسلاك خلف الغلاف . ويتم الاتصال بين وحدة المتمم المسحوب وبين جسم الغلاف بطرق مختلفة . سنذكر منها طريقتين شائعتين . احداهما النوع الموضح بشكل (٤-٢) حيث يوضح متمم ضد ارتقاع الجهد صناعة براون بوفيرى *(BBC)*. ويجهز المتمم بيد معزولة يجب تدويرها من الاتجاه الرأسى الى الافقى ، ثم يسحب بها وحدة المتمم ، كما فى شكل (٤-٢)أ . بينما شكل (٤-٢) ب يوضح وحدة المتمم ، بدون الغلاف من الخلف ، وتظهر فيها اصابع (اطراف التوصيل) لتوصيل وحدة المتمم خلال تجويفات خاصة فى جسم الغلاف ، والتى يمكن بواسطة هذه الاطراف ربط اسلاك التوصيل للمتمم . والنوع الاخر للاتصال بين جسم الغلاف ووحدة المتمم المسحوب ، وهى عبارة عن سداده إصبعية *(Connection plug)* مصنوعة من القضه *Silver* ولها يد مصنوعة من مادة معزولة . ويوضح شكل (٥-٢) نوعين من المتممات ذات وحدات سحب الى الخارج ، انتاج شركة جنرال الكتريك الامريكية ، احدهما على شكل مكعب والآخر على شكل مستطيل ، حيث تم اخراج وحدة المتمم ، ويوضح ايضاً بالشكل السداده الاصبعية وبعض اشكال سدادات الاختبار *(Test plugs)* لكل نوع .

كما يوضح شكل (٦-٢) مكان دخول السداده الاصبعية بين قاعدة جسم الغلاف وبين أوطى جزء من وحدة المتمم ، القابل للسحب .

٢-الملفات *Coils*

قد يحتوى المتمم على ملف او اكثر وقد يكون ملفاً للتيار او ملفاً للجهد حسب نوع المتمم ، والقيم القياسية لقيمة التيار المقنن لملف التيار هى :

٠,٥ ، ١ ، ٥ أمبير فمثلاً لملف تيار يتحمل تيار مقنن ١ امبير بصفة مستمرة نجد انه يتحمل ٥٠ أمبير تيار قصر (Short circuit) لمدة ثانية واحدة . وقيمة الجهد المقنن القياسى لملف الجهد من ١٠٠ الى ١١٠ ڤولت تيار متردد (a.c) .

وتختبر جميع الملفات ، بمصانع الانتاج قبل تركيبها بالمتمم عند جهد ٢٥٠٠ ڤولت لمدة ثانية واحدة ويوضح شكل (٧-٢) ملف جهد يستخدم فى متممات الوقاية ضد ارتفاع او انخفاض الجهد .

٣ - الاجزاء الفرعية القابلة للحركة *Movable sub-assembly*

تكون هذه الاجزاء خفيفة الوزن بقدر الامكان ، وللحصول على سرعة تشغيل عالية فى المتممات تكون مدى حركة هذه الاجزاء قصيرة جداً .

٤ - الكراسى *Bearings*

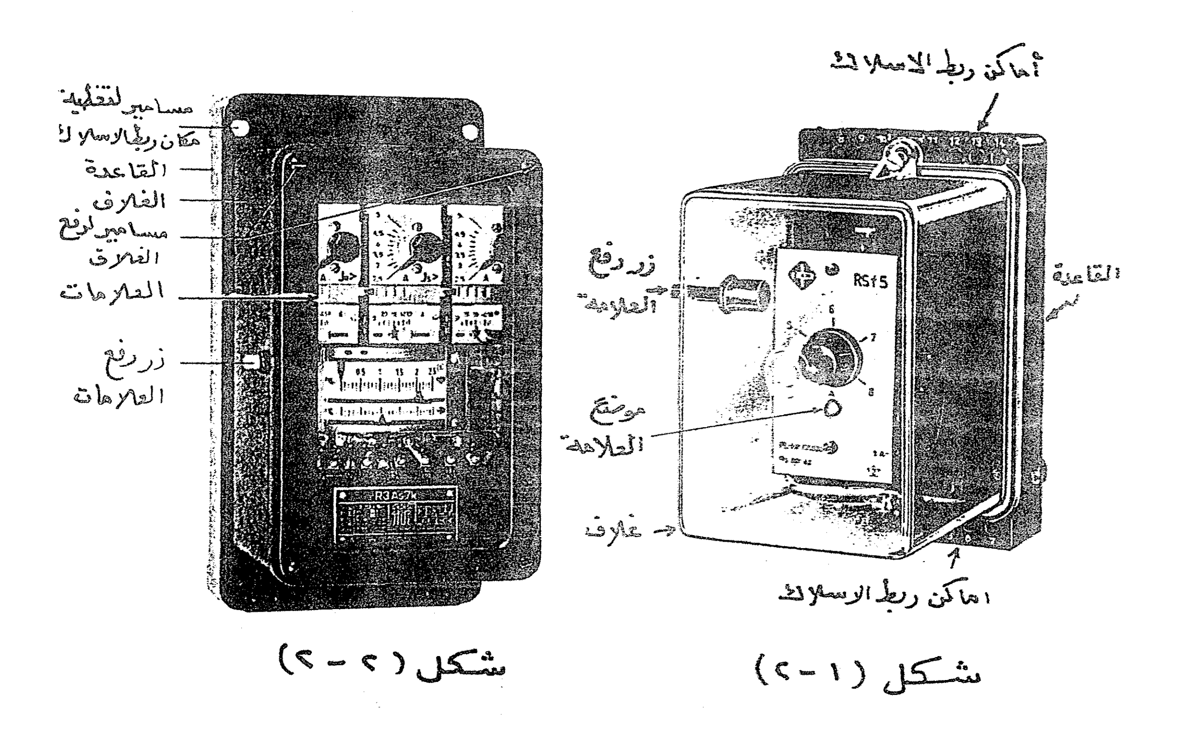
مثل الكرسى المصنوع من الاحجار الكريمة *(Jewel bearing)* ، وكرسى الارتكاز *(Pivot)* والمستخدمه فى العدادات *(Watthour meters)* وتستخدم ايضاً للمتممات التأثيرية فيثبت كرسى الارتكاز بياى *(Spring)* والذى يمتص الصدمات والاهتزازات وتستخدم بعض المصانع المنتجة للمتممات رولمان بلى *(Ball bearings)* بقطر اقل من ١,٥ مم .

وتستخدم فى المتممات ذات الحافظة المفصلية *(Hinged armature relays)* احد الانواع التالية من الكراسى : كرسى تحميل على حد سكينة *(Knife edge bearings)* أو تحميل بمسمار مركزى *(Pin bearings)* أو شرائح مرنه رجوعية *(Resilient strips)*.

٥ - نقط التلامس للمتمم *Relay contacts*

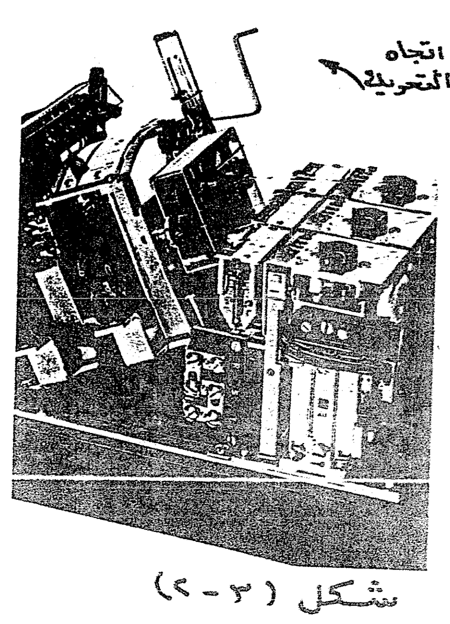
تحتوى جميع متممات الوقاية على نقط تلامس تقفل او تفتح عند مرور تيار بقيمة معينة بملف الجهاز ، او عند تسليط قيمة جهد التشغيل على ملف الجهد ، وتستخدم نقط التلامس لاستكمال دائرة الفصل لقاطع التيار ، المركب عليه المتمم .

ويجب ان تكون نقط التلامس قوية بما يكفى لتتحمل اى عدد من عمليات القفل والفتح اثناء اشتغال المتمم ، ونظراً لصعوبة ذلك لان حساسية المتمم تعتمد على خفة وزن

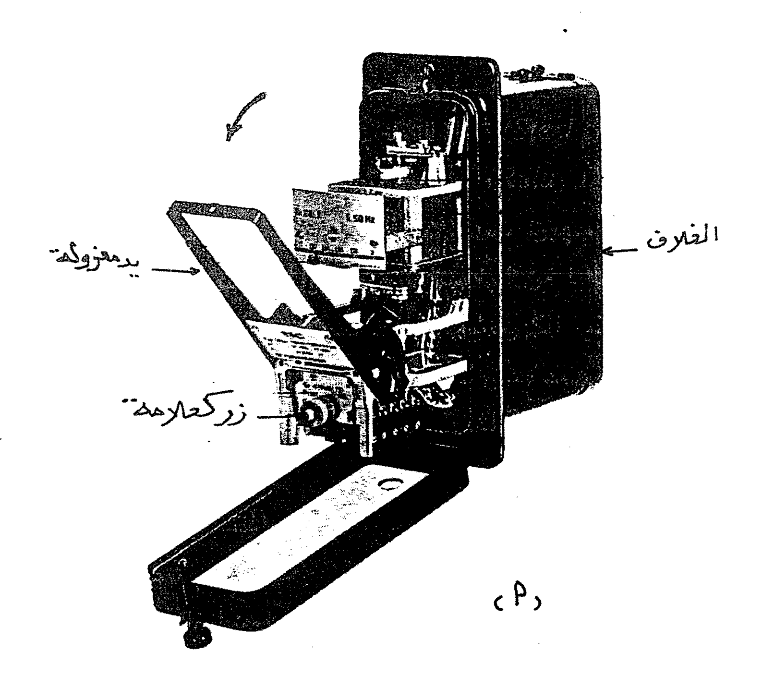


شكل (٢ - ٢)

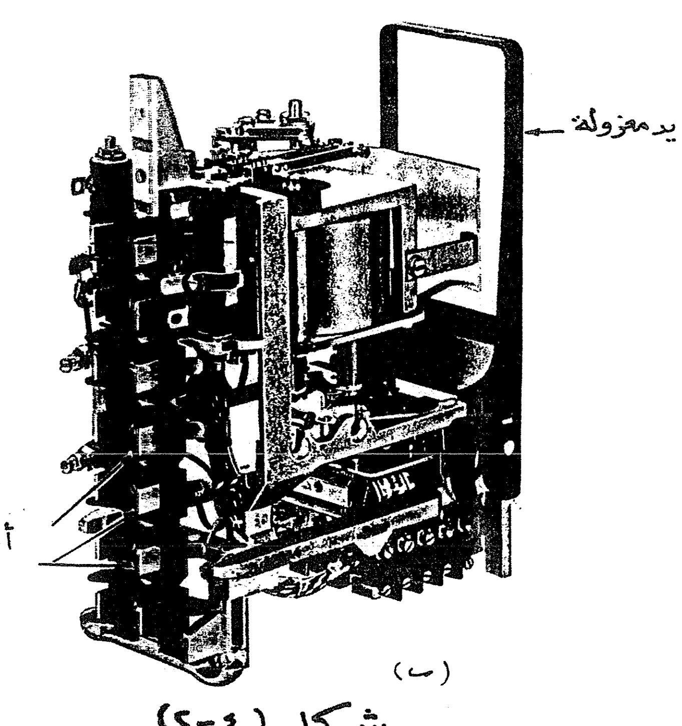
شكل (١ - ٢)



شكل (٣ - ٢)



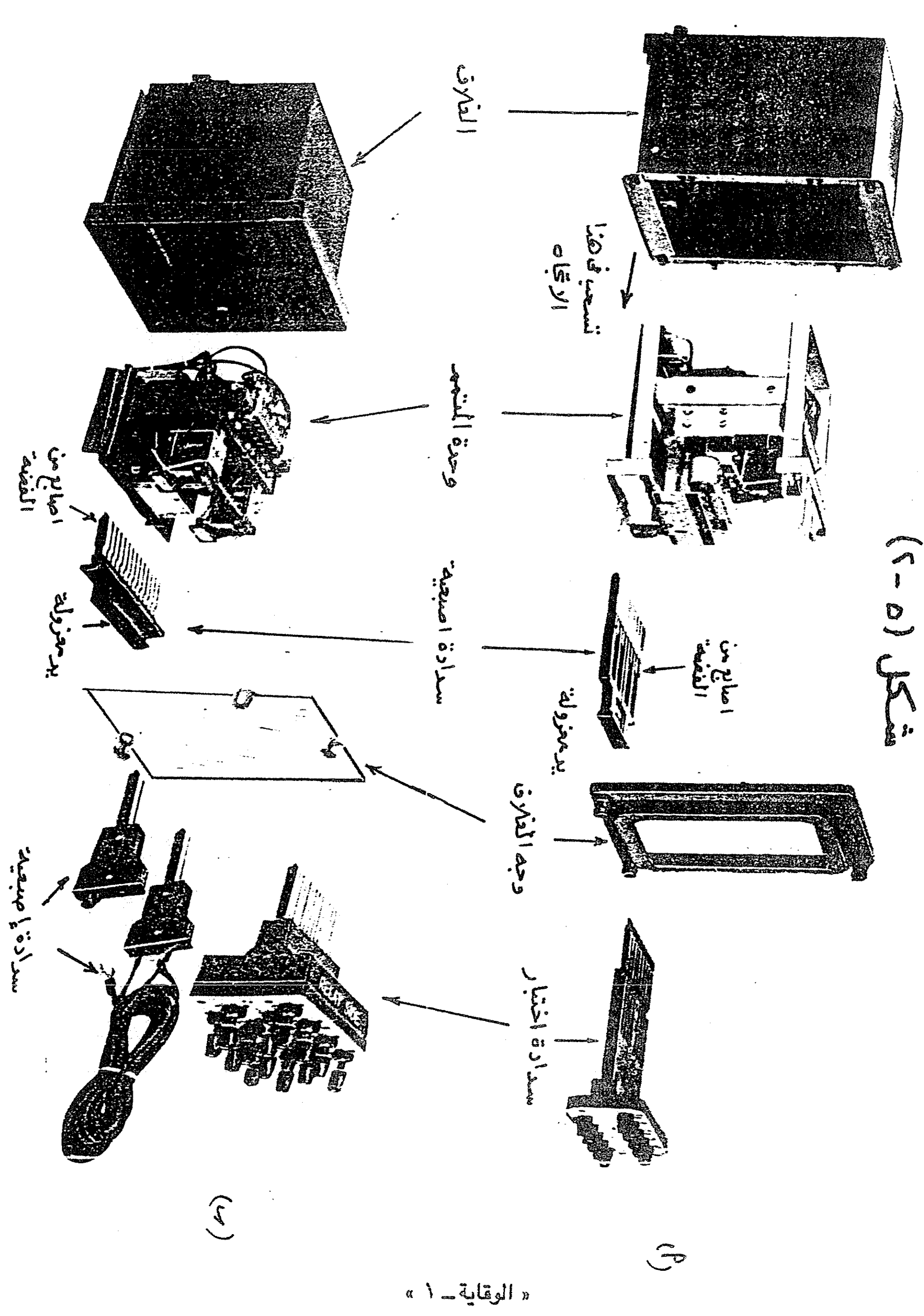
(أ)



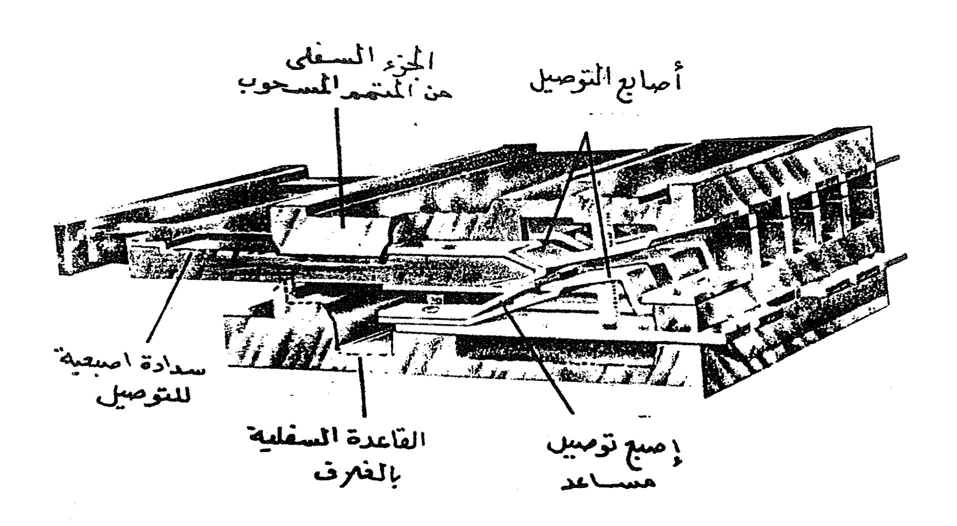
(ب)

شكل (٤-٢)

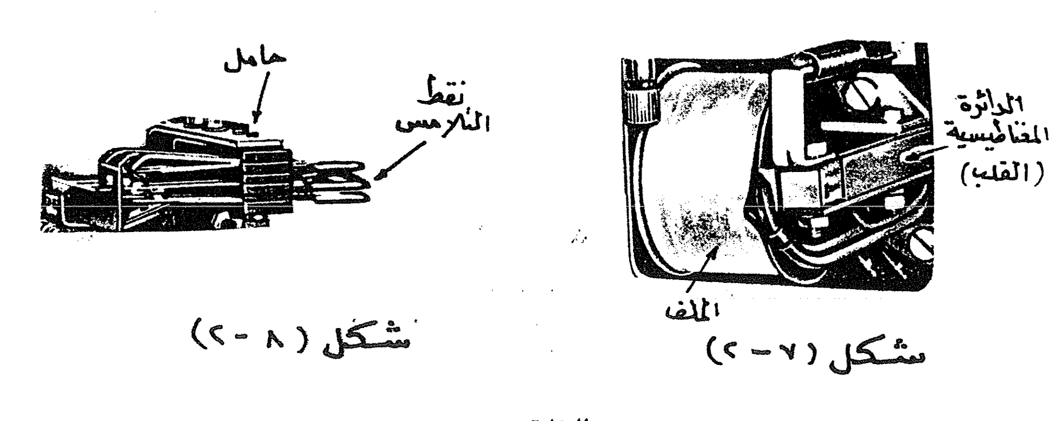
« الوقاية - ١ »



شكل (٥-٢)



شكل (٦ - ٢)



شكل (٨ - ٢)

شكل (٧ - ٢)

وصغر الاجزاء المتحركة (نقط التلامس) ، لذلك تصنع نقط التلامس خفيفة وصغيرة ولكن يراعى عدم توصيلها مباشرة بدائرة فصل قاطع التيار حتى لايمر بها تيار الفصل ، الذى يكون كبيراً بالنسبة لمساحة نقط التلامس ، ولكن يستخدم متمم مساعد *(Auxiliary relay)* ليتم عن طريقة استكمال دائرة فصل ملف قاطع التيار .

وتعتبر نقط التلامس من الاجزاء الاساسية لمتممات الوقاية ولها خصائص اهمها مايلى :-

- تكون المقاومة بالاوم بين طرفى نقطتى التلامس صغيرة جداً ولاتذكر .
- أن تقاوم الصدأ
- أن تصنع من معدن له خاصية التنظيف الذاتى *(Self-cleaning action)* .
- عند حدوث اقصى عزم بالمتمم يجب الا يتغير شكل او مقاس نقط التلامس .
- ان تتحمل عمليات التشغيل المتكررة .
- لايحدث بين طرفيهاشرارة اثناء الفتح او القفل .
- ان امكن أن يكون لها قدرة تحمل لعمليات الفصل والتوصيل *(Making and breaking capacity)* .

يوضح شكل (٨-٢) نقط تلامس لمتمم ، وتصنع نقط التلامس عادة من :

١ - الفضة وتمتاز بمقاومتها الصغيرة جداً ، وغير قابله للتأكسد ولذلك تكون نظيفة بصفة مستمرة .

٢ - سبيكة من الفضة مثل اكسيد الكادميوم والفضة *(Cadmium silver oxide)* ويفضل استخدامه للتيارات الكبيرة .

٣ - سبيكة تتكون من ذهب وفضة وبلاتين وتستخدم فى حالة التيارات الصغيرة جداً

ويمكن أن تكون نقط التلامس مفتوحة وبعد تشغيل الملف تقفل كما فى شكل (٩-٢) أ او تكون نقط التلامس مقفوله وتفتح بعد تشغيل الملف كما فى شكل (٩-٢)ب وكذلك يمكن ان تكون نقط التلامس من النوعين السابقين معا كما فى شكل (٩-٢)جـ وفى جميع الحالات تعمل نقط التلامس سواء بالقفل او الفتح ، بعد وصول جهد او تيار بين طرفى

الملف a-b الملف والذى يكون عادة عنصر متمم من النوع ذى الحافظة المفصلية ، والتى تمثل بالخط الافقى بين الملف ونقط التلامس فى الاشكال السابقة ، فتجذب الحافظة نقط التلامس وتغير وضعها الاصلى الى الوضع المعاكس ، وعند فصل مصدر التغذية عن طرفى الملف تعود نقط التلامس الى وضعها الاصلى .

٦- المبينات *Indicator or target or visual recorder*

يوجد نوعان من المبينات اما مبين داخل المتمم وعند اشتغاله يعطى دلاله لاشتغال المتمم ، او مبينات بلوحة او بخلية المبينات *(Indicator Panel)* ونستفيد من اشتغال مبين او اكثر بخلية المبينات بتحديد اى المتممات ادى الى فصل قاطع التيار .

حيث ان المحطات الكهربائية الكبرى تحتوى على مئات من متممات الوقاية فوجود المبينات لجميع المتممات مجمعة فى خلية واحدة ، يسهل عملية تحديد اى المتممات اشتغل وتكون المبينات الموجودة باللوحة ، غالباً عبارة عن عنصر متمم كهرومغناطيسى من النوع ذى المحافظة المفصلية ، والموضحة بشكل (١٠-٢) ، وهو مبين من انتاج المانيا الشرقية ، ويحتوى على واجهه بها ثلاثة فتحات تمثل كشباك ، ويتغير اللون بالفتحات عند اشتغال المبين .

يوضح شكل (١١-٢) مبينات مستخدمة داخل متممات الوقاية انتاج شركة وستنجهاوس الامريكية ، وهى ايضاً من النوع ذى الحافظة المفصلية ، وتحتوى على اكثر من نقطة تلامس ، ولذلك تعتبر كمبين وكمتمم مساعد *Auxiliary relay* ويدخل فى دائرة فصل قاطع التيار ، حيث يحمى نقط التلامس الرئيسية للمتمم حتى لاتكون هى المسئولة عن فصل قاطع التيار ، كما هو واضح فى شكل (١٢-٢) والذى يتضح منه انه عند اشتغال متمم الوقاية تقفل نقط التلامس الاساسية للمتمم *(1-2)* ، لحظياً وتكتمل دائرة فصل قاطع التيار فيصبح ملف المبين *(Seal-in coil)* مغذى بالطاقة *(Energize)* فتقفل نقط التلامس الخاصة به *(3-4)* وتصبح مساراً متوازياً للأمبير المار مع مسار نقط التلامس للمتمم وفى نفس الوقت يتغير لون الفتحات فى شباك المبين من اللون الابيض الى اللون الاحمر ، وعند انتهاء عمل المتمم ، وقطع مصدر التغذية عن ملف المبين ، يتم رفع العلامة *(Flag)* اى يتم تغيير لون الفتحات فى شباك المبين من اللون الاحمر الى الابيض مرة ثانية ويتم ذلك يدوياً عن طريق زر رافع للعلامات (زر الاستعادة)

(Reset button) والموجودة بغلاف المتمم (شكل (١٣-٢) يوضح ذراع لرفع العلامة) .

ونرى بالرجوع الى شكل (١-٢) علامة البيان التى يتغير لونها من الابيض الى الاحمر عند اشتغال متمم الوقاية ويتم رفعها يدوياً ، بعد عودة المتمم الى حالته الاولى ، عن طريق رافعه بيان موجودة بغلاف المتمم .

كذلك يوجد بشكل (٢-٢) ثلاثة علامات تعمل مع اشتغال ثلاثة عناصر ضد زيادة التيار بحيث يخص كل عنصر والعلامة الخاصة به احد الاوجه الثلاثة ويتغير ايضاً لون العلامة بفتحات الشباك من الابيض الى الاحمر ، ويتم رفع العلامات بالرافعه الموضحة بغلاف المتمم .

يوضح شكل (٤-٢) أ نوع آخر من المبينات ، لايعتمد على تغير اللون ، ولكن يعتمد على خروج زر *(button)* الى الخارج ، حيث يكون وضعه الطبيعى فى مستوى الغلاف ، وبعد عودة المتمم الى وضعه الطبيعى ، يضغط على هذا الزر يدوياً الى الداخل.

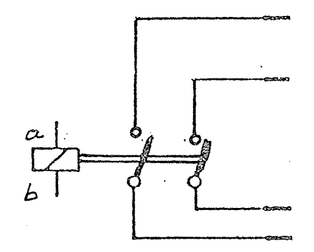
٧ - المؤقت (ساعة توقيت) وضبطه *The timer and setting*

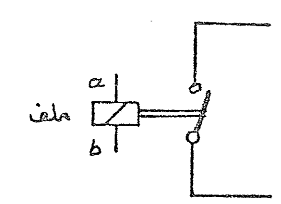
لفهم فكرة المؤقت فى الاجهزة الكهرومغناطيسية سنتعرض لنوع قديم جداً فى شكل (١٤-٢) والذى يتكون من دائرة مغناطيسية وكباس *(Plunger)* محاطاً بملف وعدد من نقط التلامس كالآتى :

- نقطة التلامس *1-2* وضعها الطبيعى مقفول وعند اشتغال المؤقت تفتح لحظياً
- نقطة التلامس *2-3* وضعها الطبيعى مفتوح وعند اشتعال المؤقت تقفل لحظياً .
- نقط التلامس *4-5* تقفل بعد تأخير زمنى معين .

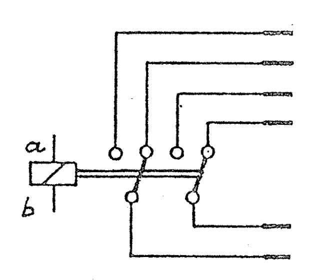
وفى حالة عدم تسليط جهد على الملف ، يكون وضع الكباس تحت تأثير الياى ، الموجود اعلاه ، بحيث يحفظ السقاطه الى اعلى والتى بدورها تمنع عمل التروس ويظل ياى الشد مشدوداً فى اقصى وضع له .

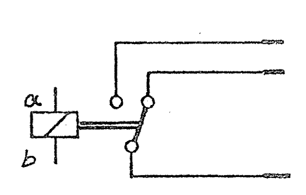
وعند تسليط جهد على الملف يحدث مجالاً مغناطيسياً يسحب الكباس الى اسفل تاركاً السقاطة حرة ، فى هذه اللحظة تفتح نقطة التلامس *1-2* وتقفل نقطة التلامس *2-3* ويصاحب ذلك اشتغال مجموعة التروس حتى تقفل نقطة التلامس *4-5* على قدر بعد المسافة بين نقطتى التلامس الثابته والمتحركة عن بعضهما .





(أ)

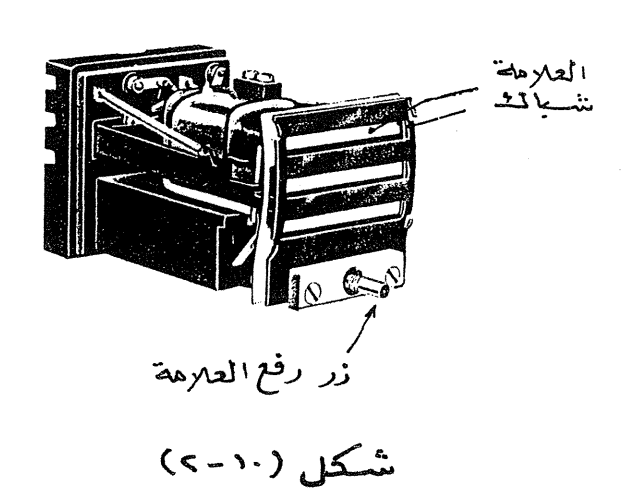




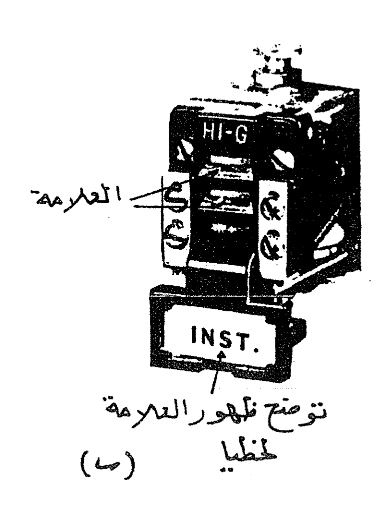
(ب)

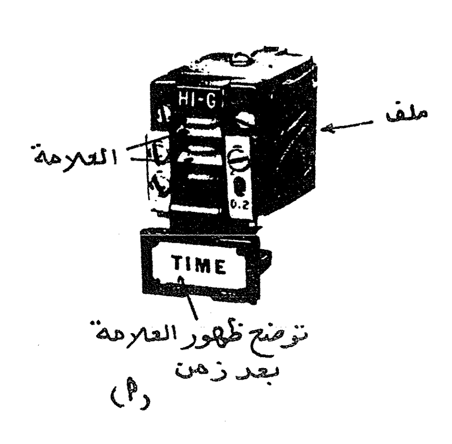
(ج)

شكل (٩-٢)

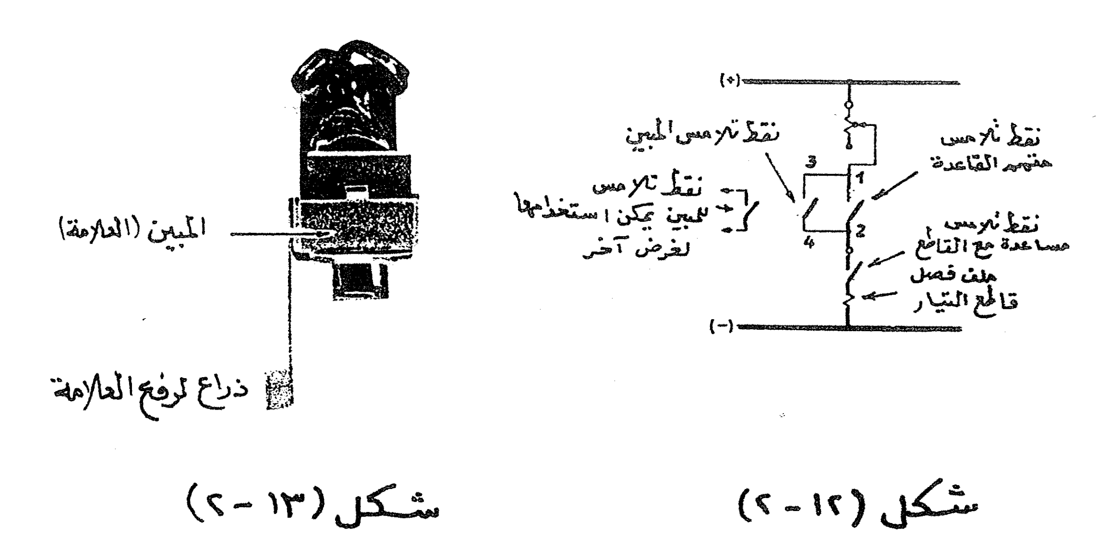


شكل (١٠ - ٢)



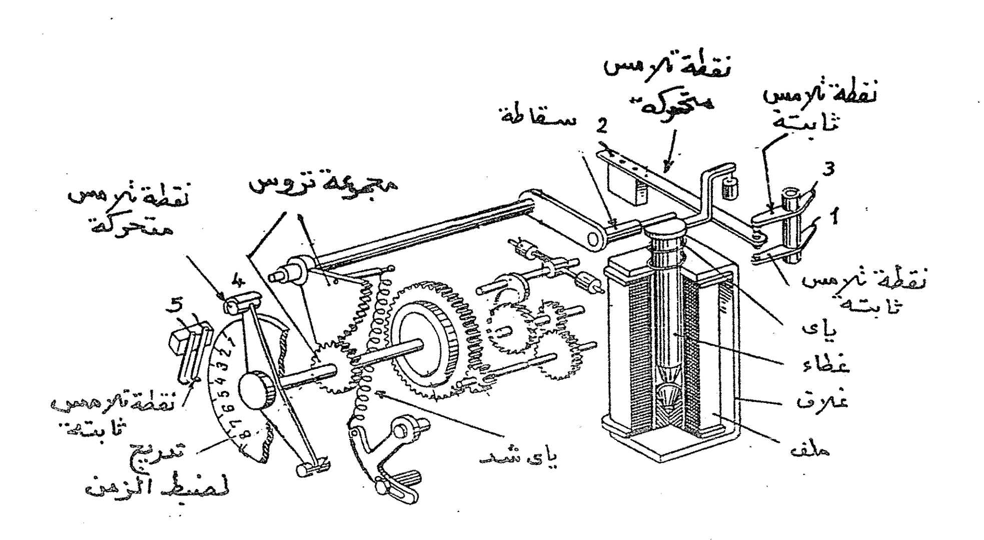


شكل (١١ - ٢)



شكل (١٣ - ٢)

شكل (١٢ - ٢)



شكل (١٤ - ٢)

وعند قطع الجهد عن الملف تعود السقاطة الى وضعها الاصلى وتمنع اشتعال مجموعة التروس .

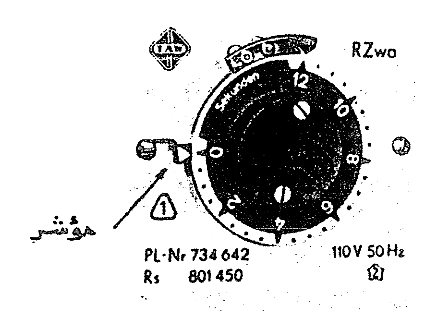
ويعتمد التأخير الزمنى *Time delay* على المسافة بين نقطة التلامس المتحركة *4*، من وضعها الاصلى ، وحتى وصولها الى نقطة التلامس الثابته *5* ويمكن ضبط قيمة الزمن عن طريق التدريج والذى يحرك الوضع الاصلى لنقطة التلامس *4*

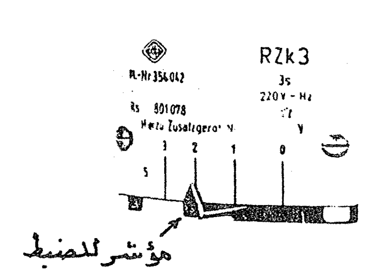
وتوجد انواع متعددة من المؤقتات يستخدم بعضها محرك متزامن *Synchronous motor* يعطى بداية الحركة لمجموعة التروس . والتى تكمل دورتها كالحالة السابقة . توجد كذلك انواع تستخدم حافظة مفصلية رقائقية *Laminated hinged armature* متصلة بنقطه تلامس وياى وتتم حركة الحافظة عند تسليط جهد على الملف وتقفل نقطة التلامس ، ويتحكم الياى فى بعد مسافة نقطة التلامس وبذلك نتحكم فى سرعة قفلها ، وهذا النوع يستخدم عادة للحصول على تأخير زمنى صغير حتى ثلاثة ثوان .

توضح الاشكال (١٥-٢) أ ، ب، جـ انواع مختلفة لضبط المؤقتات ، فمثلاً شكل (١٥-٢) أ يوضح مؤشر ضبط مؤقت له حدود من صفر الى ٣ ثوان والمؤشر مضبوط على ثانيتين ويوضح شكل (١٥-٢) ب ضبط مؤقت له حدود من صفر الى ١٢ ثانية عن طريق دوران القرص ويمكن ضبط المؤشر عند قيمة الضبط المطلوبة .

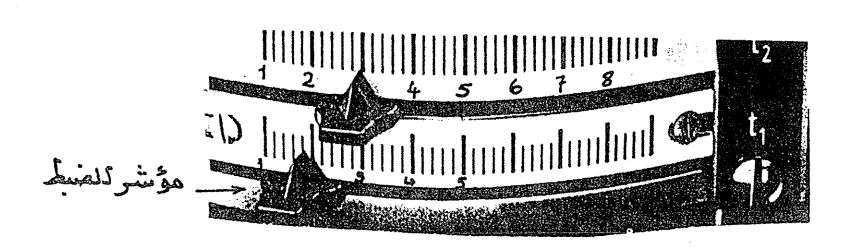
كما يوضح شكل (١٥-٢) جـ ان المتمم يحتوى على ضبطتين للزمن t_2, t_1 احدهما مضبوط على ثانيتين والآخر على ١ ثانية ويمكن عن طريق المؤشرين الحصول على ضبطتين مختلفتين .

وتعرف الانواع سالفة الذكر ، بمؤقتات الزمن المحدد *Definite time* ويمكن ان يكون المتمم مستقلاً بذاته او يكون احد عناصر مكونات متمم الوقاية . كما ان متمم الوقاية ضد زيادة التيار ذو الزمن المحدد احد الامثله لمتممات الوقاية المحتوية على عنصر زمن ، وبذلك تكون العلاقة بين الزمن والتيار عبارة عن خط مستقيم ، كما فى شكل (١٦-٢) وتعنى هذه العلاقة انه مهما زادت قيمة التيار المار بملف تيار المتمم ، عن قيمة ضبط التيار ، فان زمن المتمم يكون ثابتاً او محدداً ، وهو الزمن المضبوط على المتمم . وفى حالة اخرى يمكن ان تكون العلاقة بين التيار والزمن علاقة عكسية *(Inverse time)* وهذا يعنى انه كلما زادت قيمة التيار بملف التيار للمتمم ، عن قيمة ضبط التيار ، كلما قل



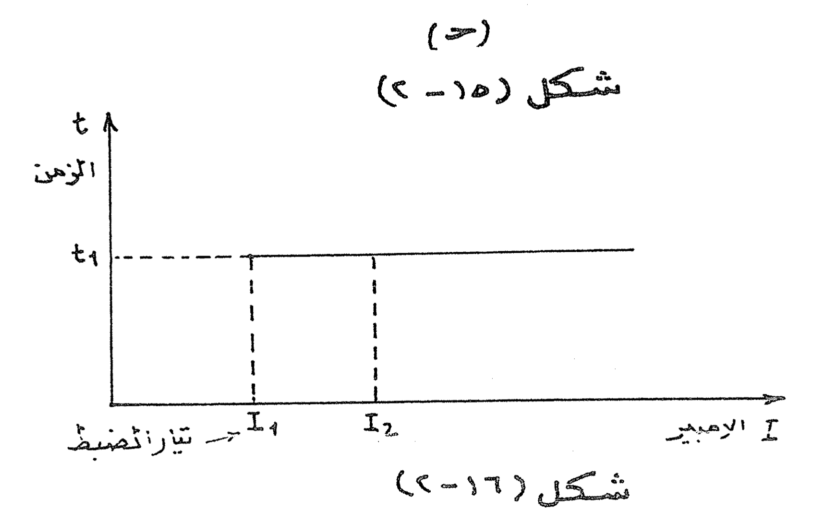


(ب) (أ)

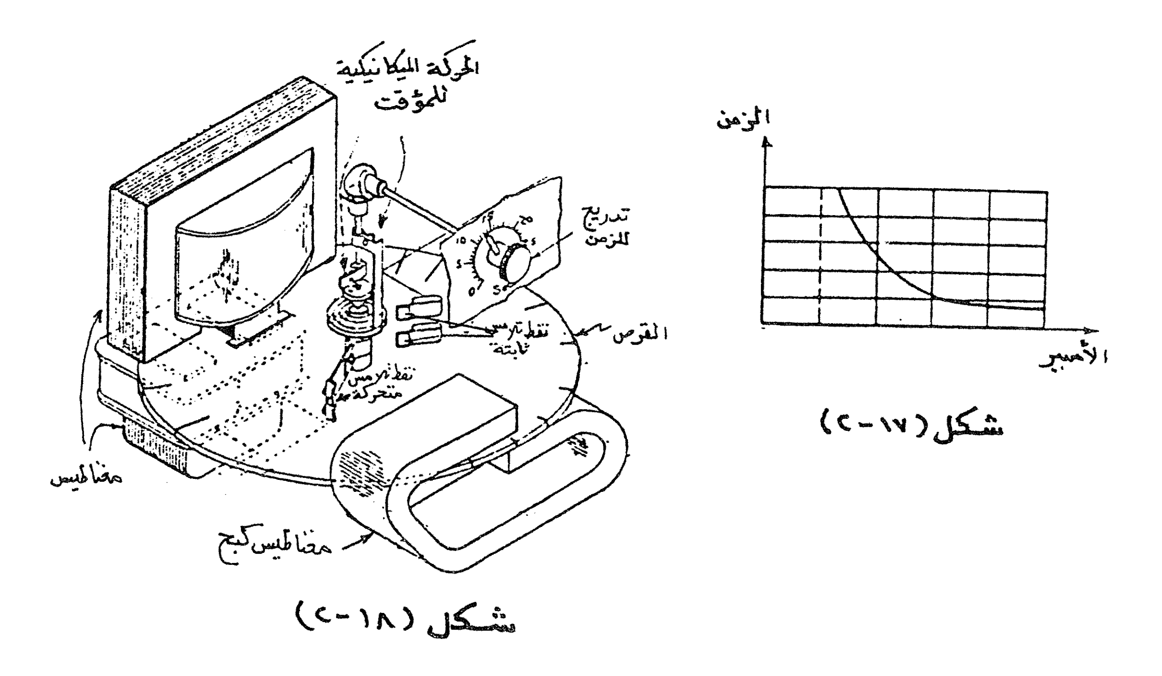


(حـ)

شكل (١٥ - ٢)

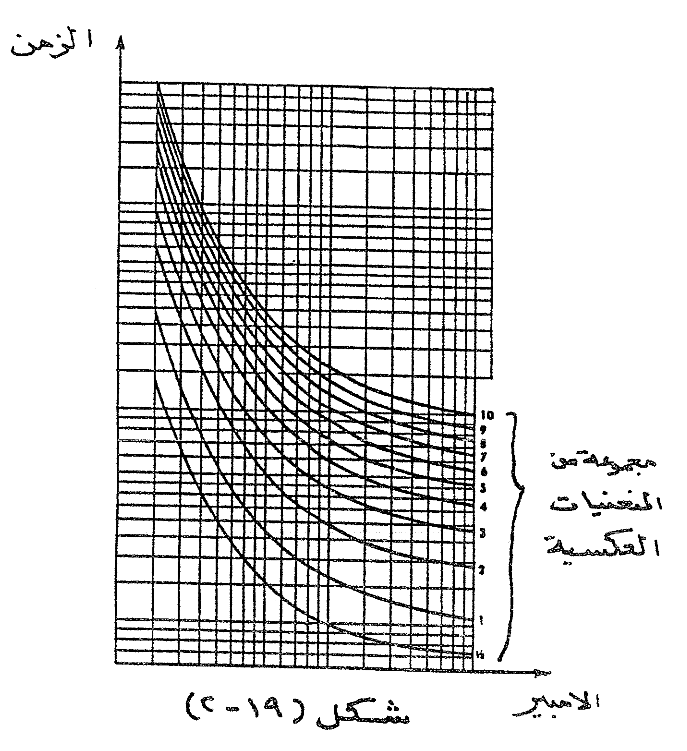


شكل (١٦ - ٢)



شكل (٢-١٨)

شكل (٢-١٧)



شكل (٢-١٩)

زمن المتمم وتكون العلاقة كما فى شكل (١٧-٢) ونحصل على هذه العلاقة من متمم ذى قرص تأثيرى *(Induction disc relay)* ، والموضح بشكل (١٨-٢) ، وتكون نقط التلامس المتحركة مثبته على محور القرص وبذلك يمكن التحكم فى زمن المتمم عن طريق ضبط وضع البداية لنقط التلامس المتحركة . بحيث نحصل على منحنيات عكسية مختلفة ، كما فى شكل (١٩-٢) .

٨ - ضبط قيمة التشغيل *Adjustment of pick up*

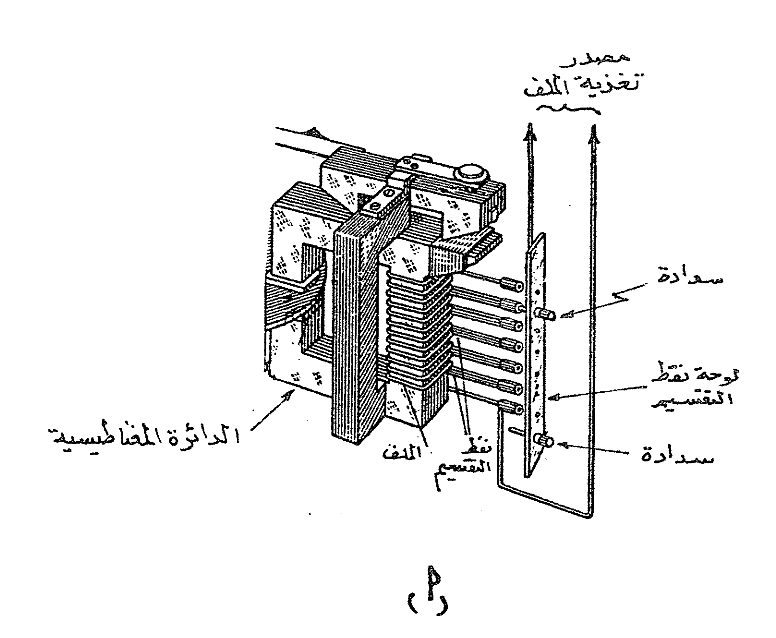
تضبط قيمة التشغيل *(Pick up)* لمتمم الوقاية باحد الوسائل الآتية :

أ - يجهز ملف المتمم بنقط تقسيم *(Tapping)* ، وعن طريقها يمكن التحكم فى عدد لفات الملف اى فى تيار (او جهد) التشغيل بمعنى آخر التحكم فى قيمة اشتغال المتمم *(Pick-up)* ويوضح شكل (٢٠-٢) أ ملف على شكل قلب مغناطيسى يحتوى على عدد ٥ نقط تقسيم وطرفى بداية ونهاية الملف وسدادة اصبعية *(plug)* لتغيير نقطة التقسيم من خلالها اى لتغيير قيمة ضبط التشغيل *(Setting)* ويوضح شكل (٢٠-٢) ب ملف يحتوى على نقطتى تقسيم وطرفى بداية ونهاية للملف .

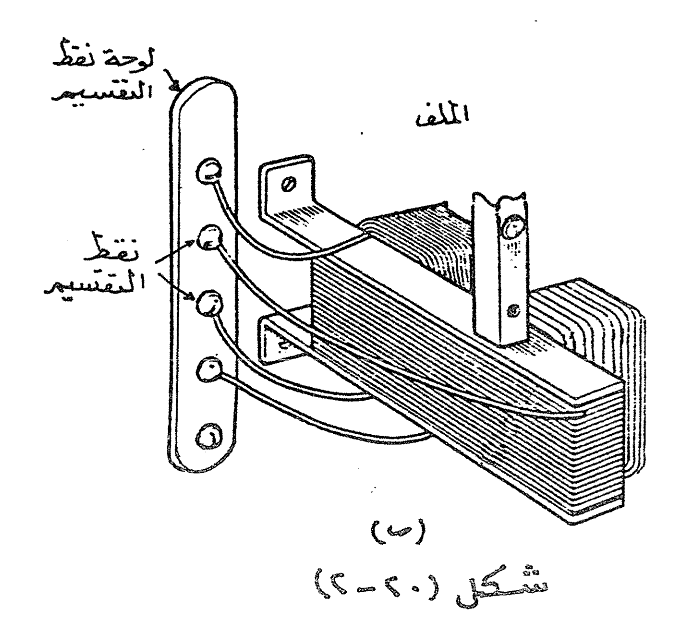
كذلك يوضح شكل (٢١-٢) أ قنطرة ضبط *(Setting bridge)* اطرافها موصلة بنقط تقسيم على ملف المتمم ، وعن طريق تغيير سداده الاختيار *(Selecting plug)* يمكن تغيير عدد اللفات وبالتالى تغيير قيمة تشغيل المتمم .

يوضح شكل (٢١-٢) ب تمثيل لمتمم ذى قرص تأثيرى يحتوى على قنطرة الضبط الموجودة فى شكل (٢١-٢) أ ، وبذلك يتضح امكانية تغيير عدد لفات الملف عن طريق السدادة الاصبعية *(Plug)* ، وان طرفى جزء الملف المتصلين بمصدر التغذية للمتمم هما *1*، من خلال السدادة ، والطرف *2* الممثل لبداية الملف .

ب - من المعروف ان متممات الوقاية الكهرومغناطيسية تعمل عندما تتعادل قوتى التشغيل والكبح ، وان قوة الكبح ناتجة عن ياى التحكم *(Control spring)* ولذلك يمكن ان تضبط قيمة تشغيل المتمم *(Pick-up)* عن طريق تغيير شد ياى التحكم ويوضح شكل (٢٢-٢) فكرة الضبط بواسطة ياى التحكم المثبت على محور متصل بحافظة الجذب ، وعن طريق تغيير مؤشر *(Knob)* التدريج يتغير شد الياى وشكل (٢٣-٢) يوضح مؤشر *(Knob)* لمتمم ، والتدريج مدرج من ٥ الى ٨ أمبير ، بواسطة دوران الموشر يتم ضبط

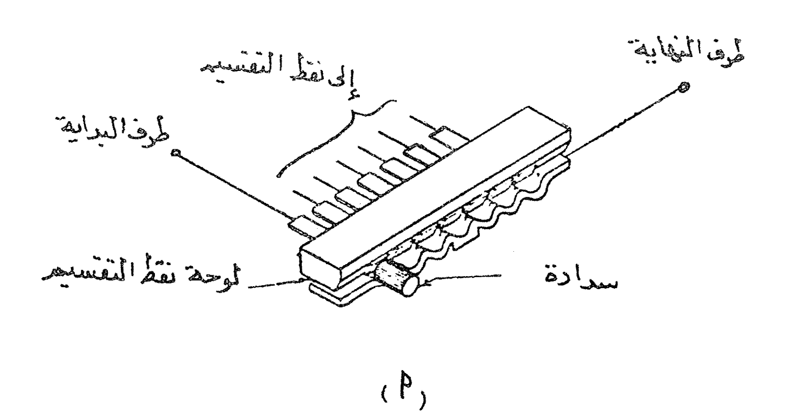

مصدر
تغذية الملف
سدادة
لوحة نقط
التقسيم
سدادة
الدائرة المغناطيسية
الملف
نقط
التقسيم

(أ)

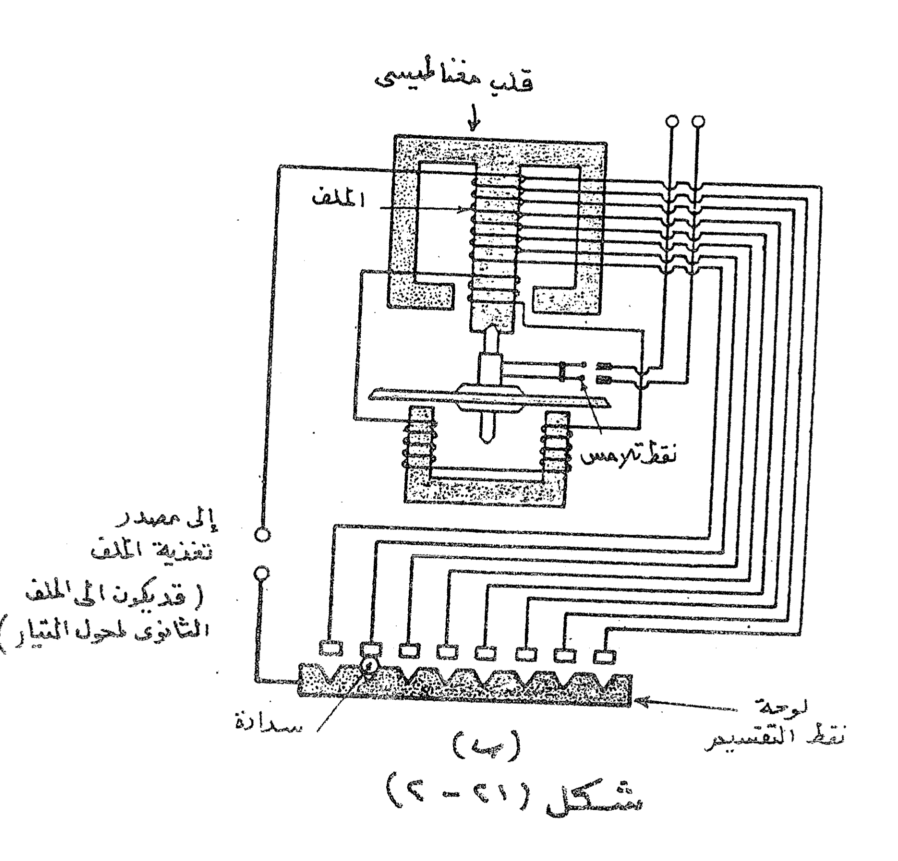

لوحة نقط
التقسيم
الملف
نقط
التقسيم

(ب)

شكل (٢٠ - ٢)


طرف النهاية
إلى نقط التقسيم
طرف البداية
لوحة نقط التقسيم
سدادة

(أ)


قلب مغناطيسى
الملف
نقط تلامس
إلى مصدر
تغذية الملف
(قد يكون الى الملف
الثانوى لمحول التيار)
سدادة
لوحة
نقط التقسيم

(ب)

شكل (٢١ - ٢)

المتمم عند القيمة المرغوبة ، شكل (٢٤-٢) يوضح مكونات مؤشر والتدريج متدرج من ١ إلى ١٠ ، ويبين على رأس المؤشر ، العلامة التى تشير الى قيمة الضبط لذلك نلاحظ فى الشكل الجزء الداخلى الذى يتم تحريكه بواسطة رأس المؤشر . يوضح شكل (٢٥-٢) متمم وقاية يحتوى على نوع آخر من المؤشرات *(Knobs)* التدريج مدرج من ٢,٥ الى ٥ امبير .

جـ - لمتممات الوقاية من النوع ذى الحافظة ، يتم ضبط قيمة تشغيل المتمم *(Pick-up)* عن طريق التحكم فى مسافة الثغرة الهوائية (l) كما فى شكلى (٢٦-٢) أ ، ب وعموماً تتناسب قوة التشغيل مع كل من :

I = التيار المار بالملف

N = عدد لفات الملف

l = طول الثغرة الهوائية بين القلب والحافظة المفصلية

وتكون معادلة القوة

$$F \propto \frac{I^2 N^2}{l^2}$$

مما سبق يتضح انه يمكن ضبط قيمة تشغيل المتمم *(Pick-up)* باحد الطرق الآتية :

١- تغيير عدد لفات الملف ، اى تقليل قيمة تيار التشغيل بزيادة عدد اللفات .

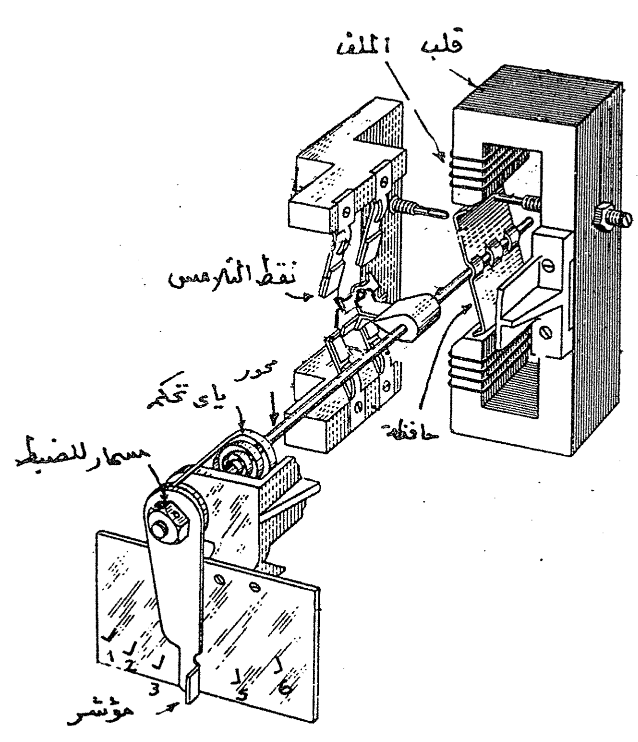
٢- تغيير شد ياى التحكم ، فكلما كان الشد اقوى تكون قيمة تيار التشغيل اكبر .

٣- تغيير طول الثغرة الهوائية ، حيث كلما كان طول الثغرة الهوائية اطول تكون قيمة تيار التشغيل اكبر .

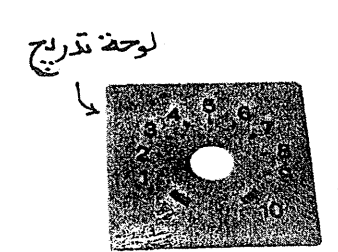
المتممات المساعدة *Auxiliary relays*

يتكون المتمم المساعد من :

- ملف يمكن ان يعمل بدوائر الجهد المتردد *(a.c)* بقيمة ١١٠ أو ٢٢٠ أو ٣٨٠ فولت او بالجهد المستمر *(d.c)* بقيمة ٢٤ أو ٤٨ أو ١١٠ أو ٢٢٠ فولت ، وفى هاتين الحالتين يتم توصيل الملف على التوازى مع دوائر الجهد . او يمكن ان يعمل الملف بدوائر تيار وذلك بتوصيله على التوالى مع دوائر التيار .

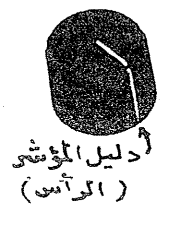


شكل (٢٢-٢)



تدريج

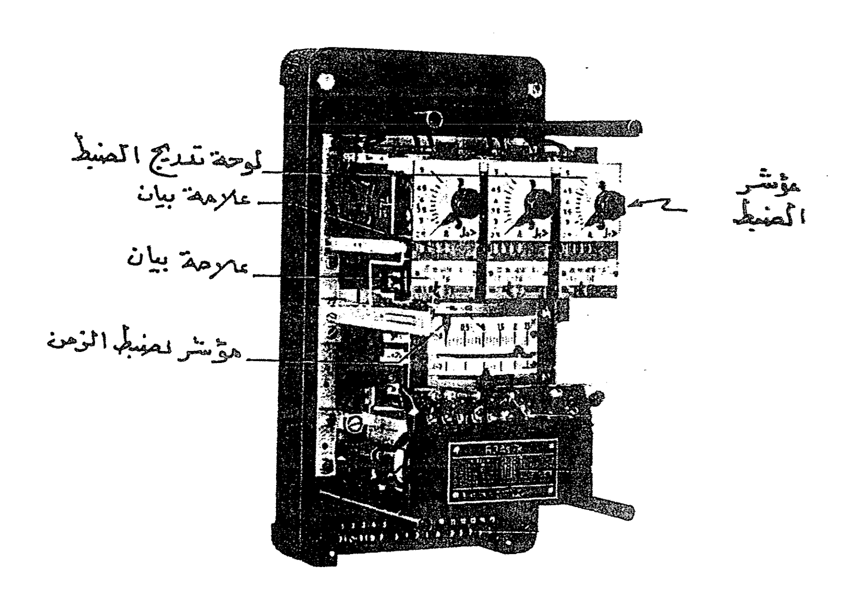
مؤشر



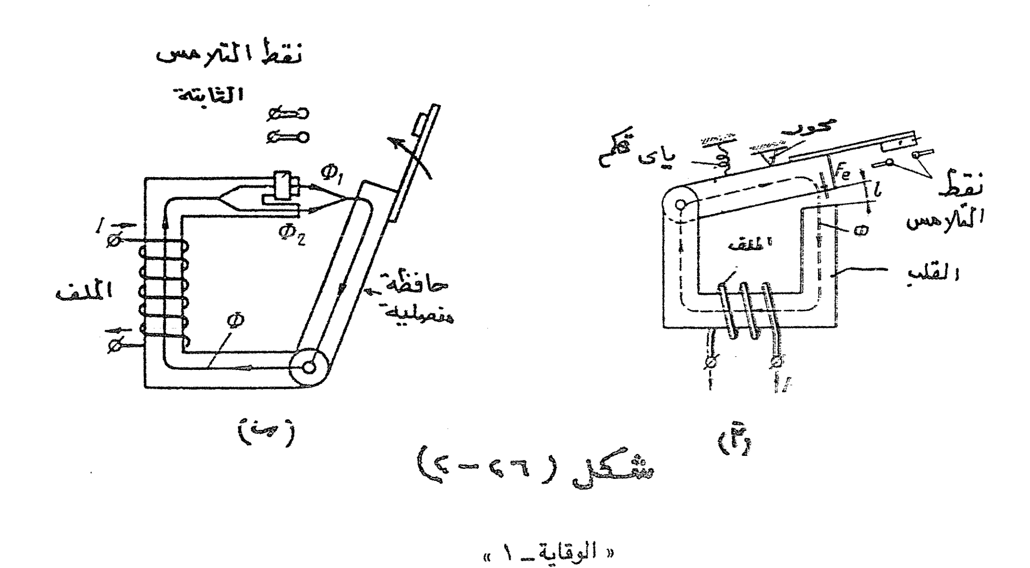


شكل (٢٣-٢)

شكل (٢٤-٢)



شكل (٢٥-٢)



شكل (٢٦-٢)

- عدد من نقط التلامس فى وضع الفتح او القفل او الاثنين معاً .

ويكون المتمم المساعد عادة ، من نوع المتممات ذات الحافظة المفصلية ، وفيما يلى بعض هذه الانواع : يوضح شكل (٢٧-٢) أ مكونات متمم مساعد يعمل بدوائر الجهد المتردد ويتكون من قلب مغناطيسى ملفوف عليه ملف الجهد ، مقاومة متصلة على التوالى مع الملف ، عدد ٢ من نقط التلامس الزوجية ، ونلاحظ فى شكل (٢٧-٢) ب الدائرة المكافئة لهذا المتمم . عند تسليط جهد التشغيل بين الطرفين *(11-12)* يتغير وضع نقط التلامس المفتوحة *(7-9)*، *(8-10)* الى مقفوله ، بينما تصبح نقط التلامس *(1-9)* ، *(2-10)* مفتوحة وعند عزل جهد التشغيل عن الملف تعود نقط التلامس الى وضعها الطبيعى .

ويوضح شكل (٢٨-٢) أ مكونات متمم مساعد ، يحتوى على عدد ٥ نقط تلامس مفتوحة . عند تسليط جهد التشغيل على الملف تجذب الحافظة الى القلب والتى تعمل على تحريك قضيب رفع *(Push rod)* فى اتجاه قفل نقط التلامس ويوضح شكل (٢٨-٢) ب الدائرة المكافئة لهذا النوع .

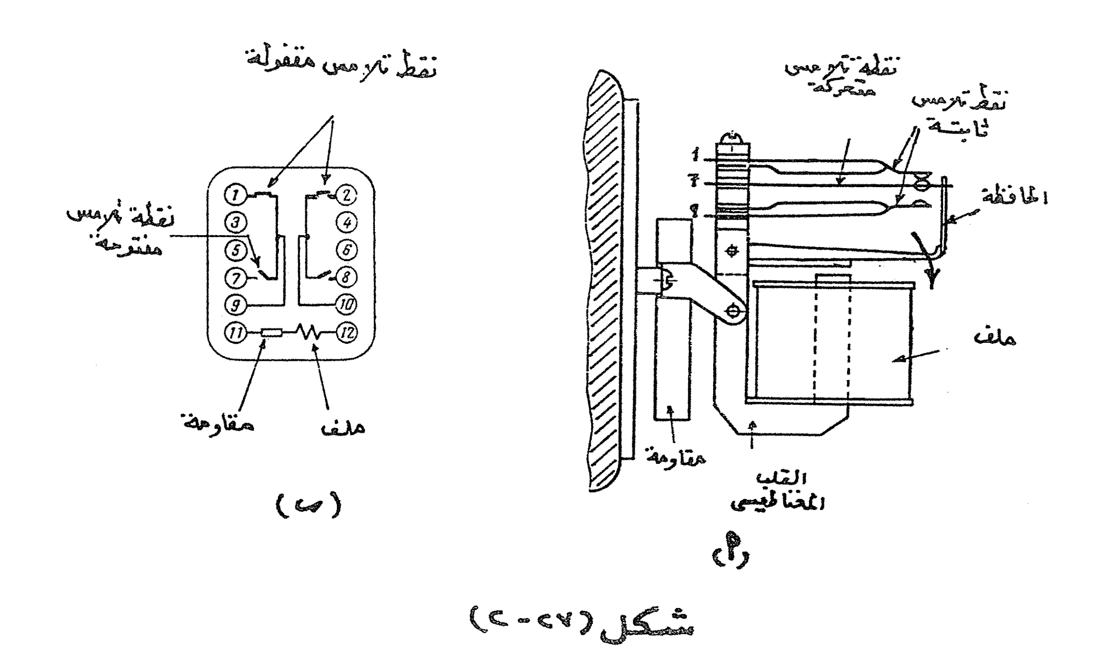
ويبين شكل (٢٩-٢) أ متمم مساعد يعمل بدوائر التيار ،حيث يتكون من محول له القدره على التشبع *(Saturable transformer)* يوصل على التوالى مع دوائر التيار ، وقنطرة توحيد ، ودائرة مغناطيسية ، وملف ، وعدد ٢ نقط تلامس مزدوج .

يعمل الملف بدوائر تيار مستمر *(d.c)* من مخرج قنطرة التوحيد ، وتعمل الحافظة على جذب نقط التلامس وتغيير وضعها . يوضح شكل (٢٩-٢) ب الدائرة المكافئة ويلاحظ وجود مكثف للحصول على التنعيم لدوائر التيار المستمر .

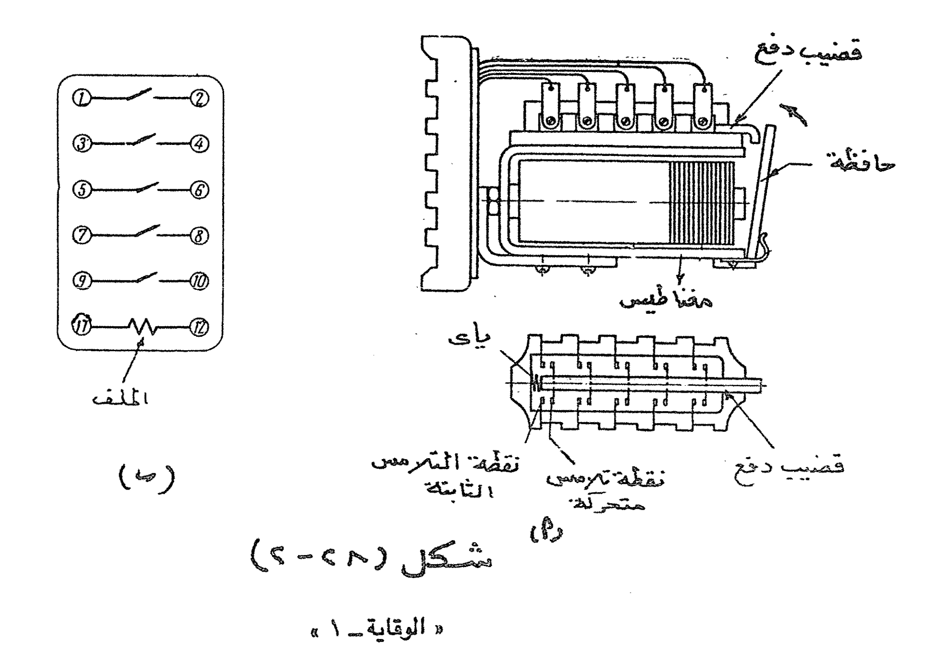
ويكون استخدام المتممات المساعدة لأحد هذين الغرضين او كليهما :

١- فى حالة احتواء متمم الوقاية على نقطة تلامس واحدة ، فيتم تشغيل المتمم المساعد عن طريق نقطة تلامس المتمم . ثم استخدام نقط تلامس المتمم المساعد لاغراض مختلفة منها : تشغيل اشارة مرئية *(Flag)* ، وتشغيل اشارة مسموعة *(Horn)* ، او استكمال دائرة فصل قاطع التيار كما هو واضح بالشكل (٢٩-٢)جـ.

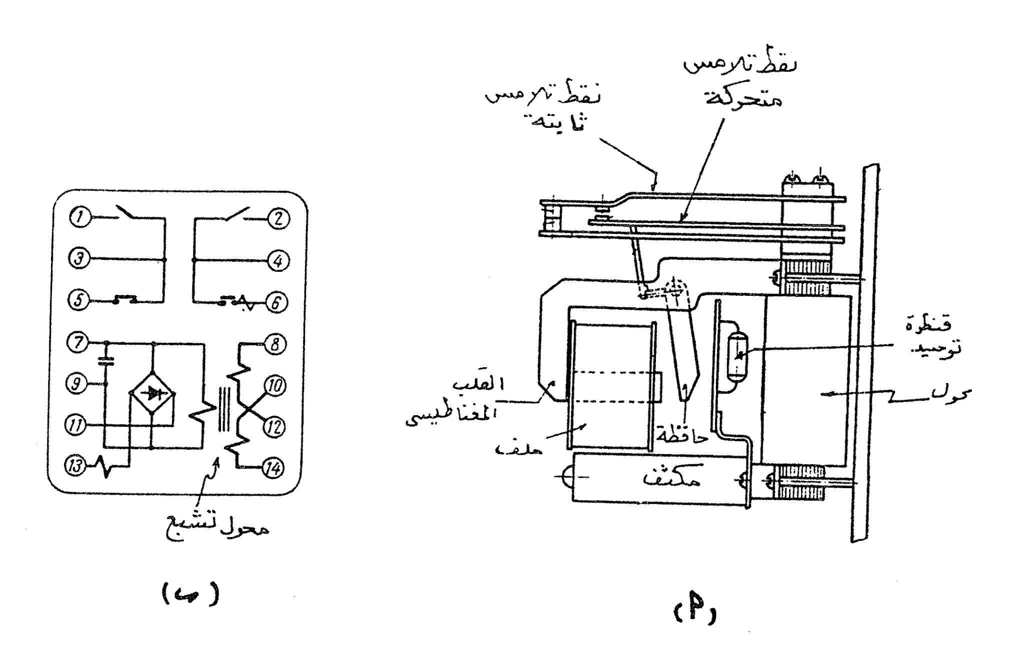
٢- وكما ذكرنا سابقاً ، فان نقط تلامس متمم الوقاية تكون خفيفة الوزن ولاتتحمل

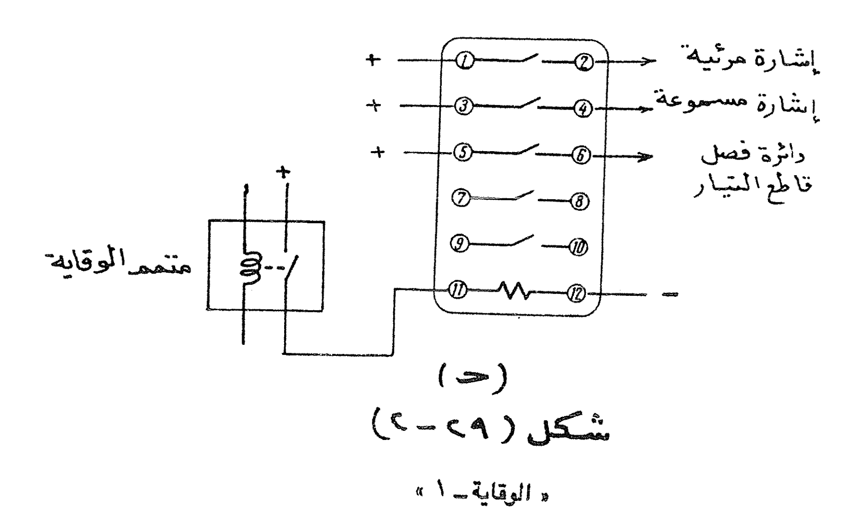


شكل (٢٧-٢)



شكل (٢٨-٢)

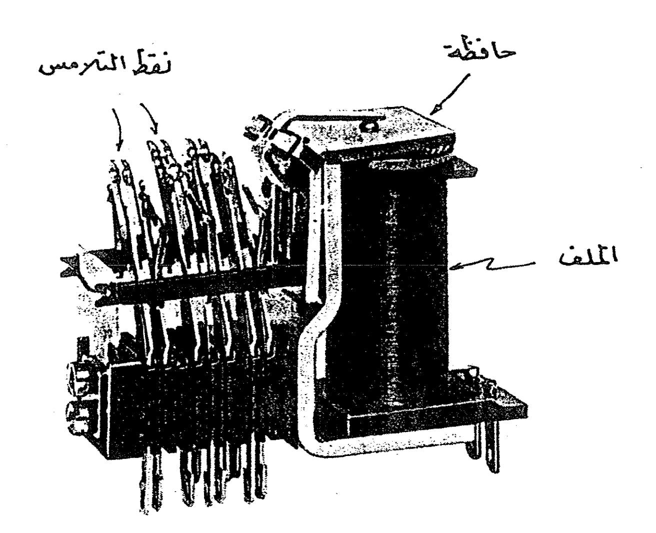




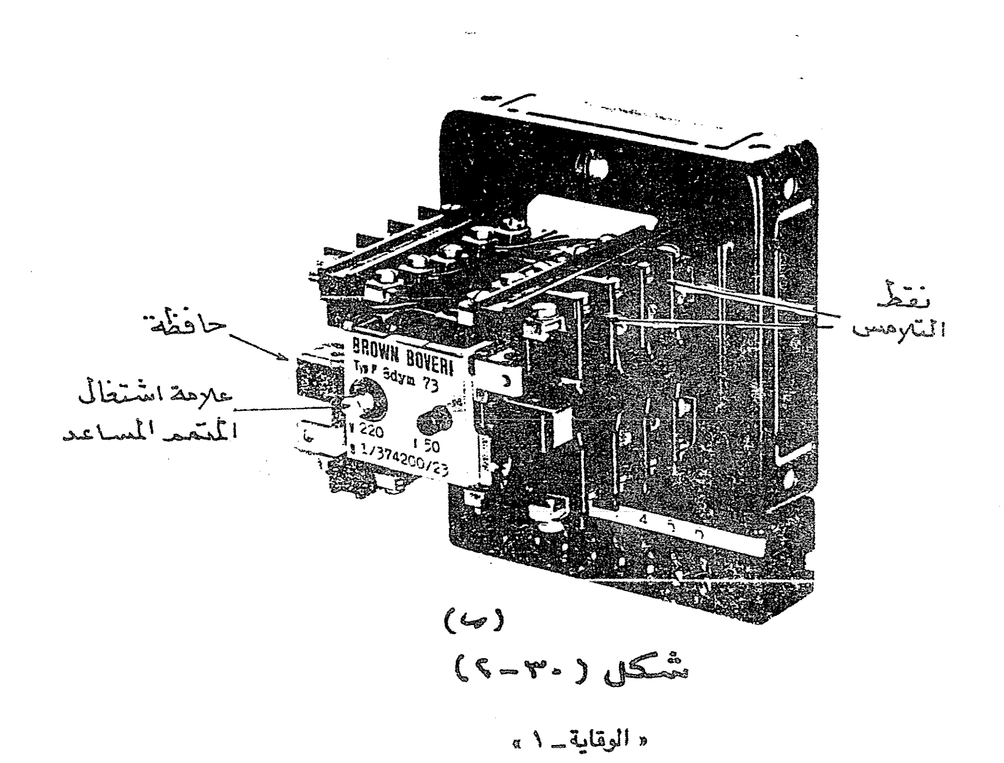
(حـ)

شكل (٩ـ٢٩)

« الوقاية ـ ١ »


نقط التلامس
حافظة
الملف

(أ)


نقط التلامس
حافظة
علامة اشتغال
المتمم المساعد
BROWN BOVERI
Typ F 5dym 73
V 220
f 50

(ب)

شكل (٣٠-٢)

مرور تيار كبير بها ، اى لاتتحمل التيار المار بدائرة فصل قاطع التيار اثناء عمليات الفصل والتوصيل *(Making or Breaking Capacity)* ، ولذلك تستخدم نقط تلامس متمم الوقاية لتشغيل المتمم المساعد ، ثم استخدام نقط التلامس للمتمم المساعد لاغراض مختلفة .

عموماً يمكن ان يحتوى متمم الوقاية على متمم مساعد كأحد مكوناته ، او يمكن اضافة متمم مساعد خارجى مع متمم الوقاية .

يوضح شكلى (٣٠-٢) أ، ب الشكل الهيكلى لنوعين مختلفين من المتممات المساعدة .

٢ - نظريات تشغيل متممات الوقاية الكهرومغناطيسية

سبق ان ذكرنا ان متممات الوقاية الكهرومغناطيسية ، او التقليدية ، تتكون من ملف او اكثر ، ونقط تلامس *(Contacts)*، وأجزاء متحركة ... ويعتمد تشغيل الجزء المتحرك على المعادلة العامة للقوة *(Force)* او للعزم *(Torque)* .

ومعادلة القوة هى $F = F_o - F_r$

حيث :

F_o = قوة التشغيل *(Operating force)*

F_r = قوة الكبح *(Restraining force)*

F = القوة المؤثرة *(Net force)*

وبالمثل فمعادلة العزم هى $T = T_o - T_r$

حيث

T_o = عزم التشغيل

T_r = عزم الكبح

T = العزم المؤثر

ويجب ان تتغلب قوة (او عزم) التشغيل على قوة (او عزم) الكبح حتى يعمل المتمم وتقفل نقط التلامس الخاصة به والتى بدورها تكمل دائرة ملف فصل قاطع التيار .

ونحصل على عزم التشغيل فى متممات الوقاية الكهرومغناطيسية باحدى الطرق

الآتية :

- الجذب الكهرومغناطيسى *Electromagnatic attraction*

- التأثير الكهرومغناطيسى *Electromagnatic induction*

- التأثير الحرارى للتيار الكهربى *Thermal effects of electric current*

كما نحصل على عزم الكبح بواسطة ياى *(Spring)* .

وفيما يلى فكرة عن أنواع متممات الوقاية الكهرومغناطيسية :

١ - متممات ذات حافظة جذب *Attracted armature relays*

تعتبر من أبسط أنواع متممات الوقاية . ويحتوى المتمم على ملف ، يتغذى إما من الملف الثانوى لمحول التيار او محول الجهد ، وعند مرور تيار به يتولد مجال مغناطيسى يعمل على حركة الجزء الحديدى المتحرك *(Rotating iron vane)* او تحريك كباس *(Plunger)* ، ونبين فيما يلى انواع المتممات ذات حافظة الجذب :

- متمم وقاية ذو حافظة مفصلية *Hinged armature type relay*

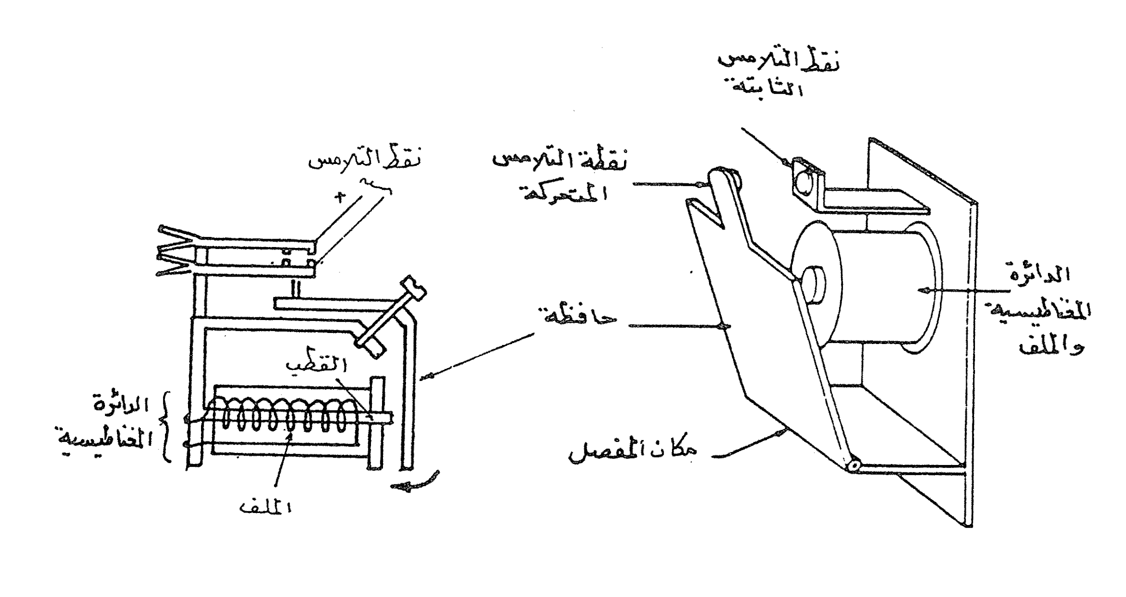
يوضح شكل (٣١-٢) أ مكونات هذا النوع ، فعند مرور تيار بملف المتمم يتولد مجال مغناطيسى فى القطب وتجذب الحافظة فى اتجاه القطب ، فتتلامس نقط التلامس المتحركة والثابتة .

- متمم وقاية ذو كباس *Plunger type relay*

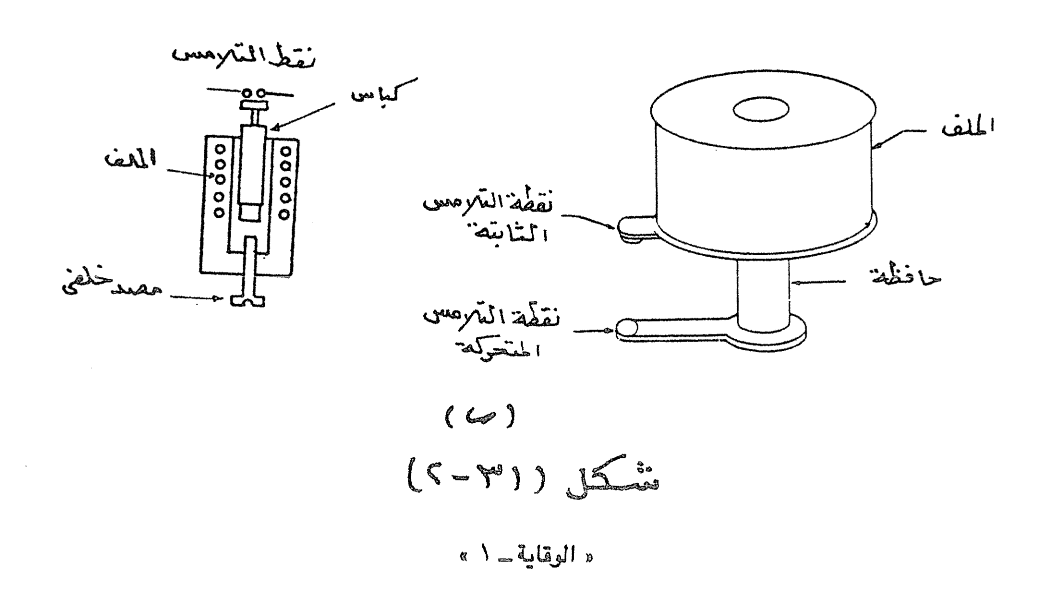
يوضح شكل (٣١-٢) ب مكونات هذا النوع ، فعند مرور تيار بالملف ، يتولد مجال مغناطيسى يعمل على تحريك الكباس ، الى اعلى او الى اسفل حسب تصميم المتمم ، فتتلامس نقط التلامس المتحركة والثابتة . بينما يوضح شكل (٣٢-٢) أ الشكل الهيكلى لمتمم ذى كباس .

- متمم وقاية ذو جزء حديدى مستقطب متحرك *Polarised moving iron relay*

يوضح شكل (٣٢-٢) ب الرسم الهيكلى ومكونات احد انواع متمم الوقاية ذو المغناطيس المستقطب بينما يوضح شكل (٣٣-٢) تمثيل لنوعين مختلفين ، حيث يتولد المجال المغناطيسى فى الحافظة المتحركة ، عن طريق المغناطيس الثابت . فتتحرك

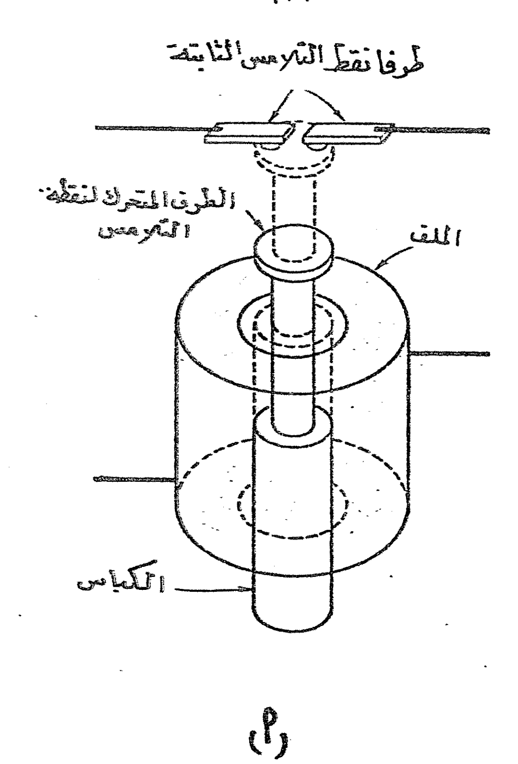

نقط التلامس
الثابتة
نقطة التلامس
المتحركة
نقط التلامس
الدائرة
المغناطيسية
والملف
حافظة
القطب
الدائرة
المغناطيسية
الملف
مكان المفصل

(أ)

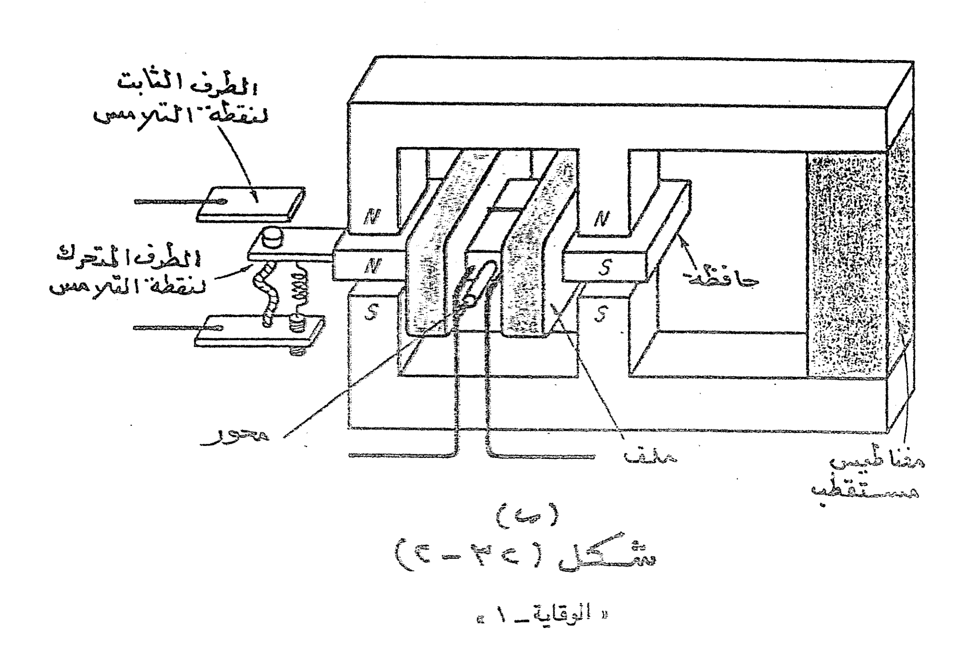

نقط التلامس
كباس
الملف
مصد خلفي
الملف
نقطة التلامس
الثابتة
حافظة
نقطة التلامس
المتحركة

(ب)

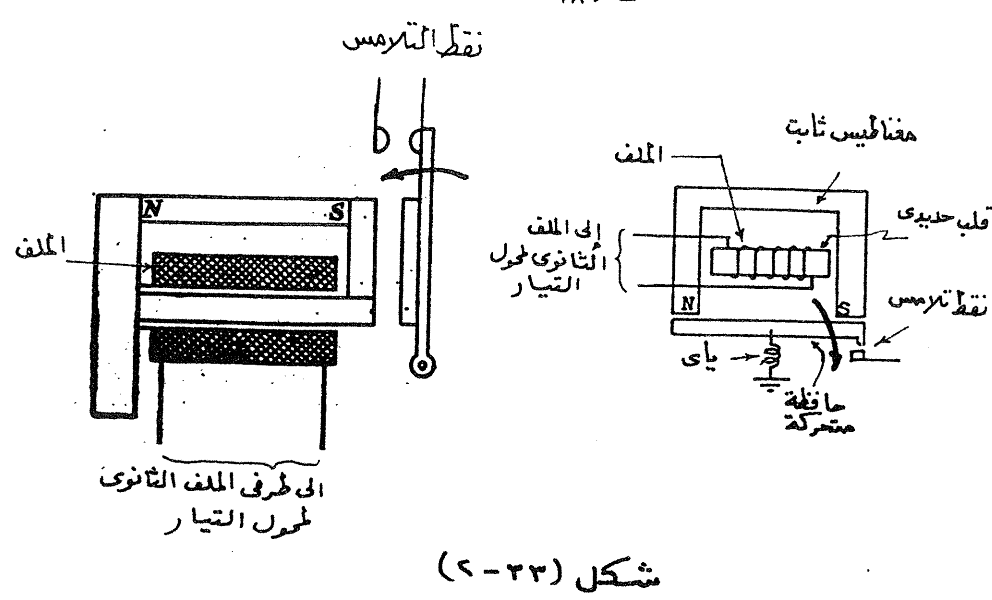
شكل (٣١-٢)


طرفا نقط التلامس الثابتة
الطرف المتحرك لنقطة التلامس
الملف
الكباس

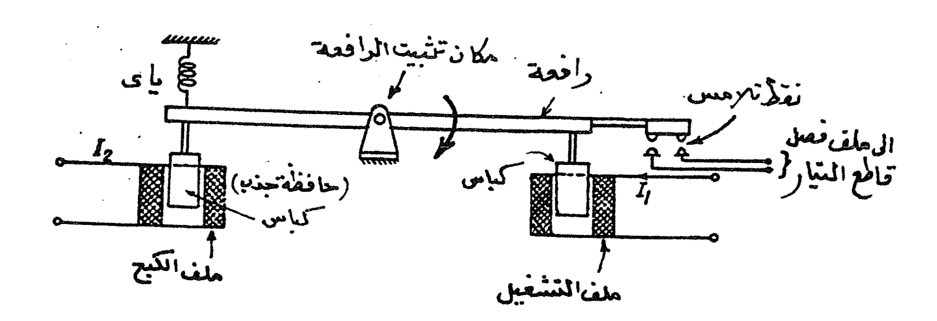
(أ)


الطرف الثابت لنقطة التلامس
الطرف المتحرك لنقطة التلامس
N
N
S
N
S
S
حافظة
محور
ملف
مغناطيس مستقطب

(ب)
شكل (٢ - ٣٢)



شكل (٣٣-٢)



شكل (٣٤-٢)

الحافظة ، توصل طرفى نقط التلامس .

فكرة التشغيل

تتناسب القوة الكهرومغناطيسية ، الناتجة بالجزء المتحرك ، مع مربع الفيض المغناطيسى بالثغرة الهوائية وبفرض إهمال حالة التشبع ، فان القوة تتناسب مع مربع تيار التشغيل المار (I) بملف المتمم وتكون معادلة القوة هى :

$$F = K_1 I^2 - K_2$$

حيث

$K_1 I^2 =$ قوة التشغيل

$K_2 =$ قوة الكبح ممثلة فى عملية الاحتكاك

$K_1 =$ ثابت التناسب

عندما تتساوى قوتى التشغيل والكبح نحصل على حالة بداية تشغيل المتمم اى ان

$$F = 0$$

$$K_1 I^2 = K_2$$

$$I = \sqrt{K_2 / K_1} = (Constant) = \text{قيمة ثابتة}$$

ومن الخصائص العامة لهذه المتممات :

١ - إن هذه المتممات يمكن ان تعمل بمصدر تغذية تيار مستمر *(d.c)* او متردد*(a.c)* (لان العزم يتناسب مع مربع التيار)

٢ - بسبب ان الجزء المتحرك قصير الطول تعتبر هذه الأجهزة سريعة التشغيل *(Pick up)* وسريعة الاستعادة *(Reset)*

٣ - عامل الاستعادة *(Reset factor)* (النسبة بين تيار الاستعادة الى تيار التشغيل) للمتممات التى تعمل بالتيار المتردد *(a.c)* يتراوح بين ٩٠ ٪ الى ٩٥ ٪ بينما يتراوح للمتممات التى تعمل بالتيار المستمر *(d.c)* بين ٦٠ الى ٩٠ ٪ ويكون الفرق كبيراً عادة ،

بين تيار التشغيل ، وتيار الاستعادة .

٤ - يمكن ان يشتغل المتمم اشتغالاً خاطئاً فى حالة التيارات العابرة *(Transient current)* لاحتوائه على مركبة تيار مستمر *d.c* مع الموجه الاصلية للتيار المتردد .

٥ - يختلف عبئ المتمم *(Burden)*حسب نوعه وتصميمه ، فمثلاً للتيارات فى حدود من ١,٠ الى ٤,٠ امبير يكون العبء من ٢,٠ - ٦,٠ فولت امبير .

٦ - تكون العلاقة بين التيار المار بالملف وزمن التشغيل عكسية .

مجالات استخدام المتممات الكهرومغناطيسية ذات حافظة الجذب :

- الوقاية ضد زيادة التيار ذات تأخير زمنى عكسى *(Inverse time)* .

- الوقاية ضد زيادة التيـــار او ضـــد التســـرب الارضـــى ذات زمن محدد *(Definite time)*.

- الوقاية التفاضلية .

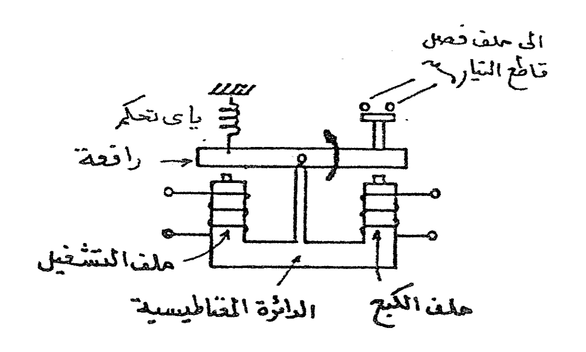
- متممات مساعدة *(Auxiliary relay)* ، حيث تستخدم نقط التلامس فى أغراض مختلفة .

٢ - **متمم اتزان الرافعه** *Balance beam relay*

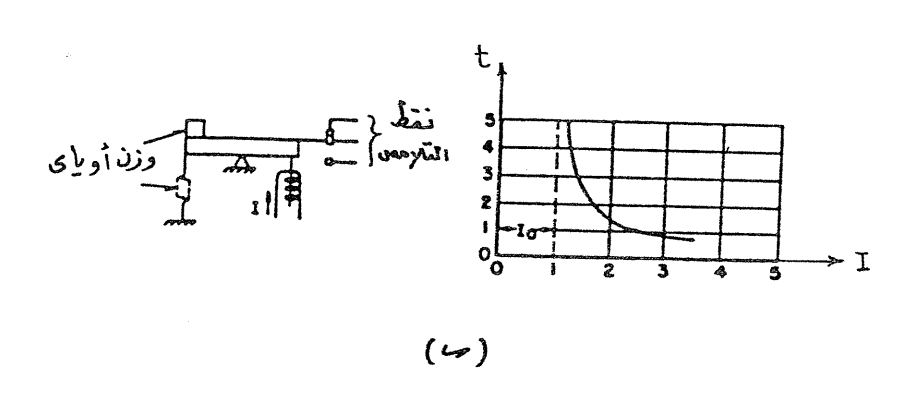
يتكون المتمم من رافعه افقية مثبته فى مركزها ، وملفين احدهما ملف تشغيل *(operating coil)* والآخر ملف الكبح *(Restraining coil)* ، ونقط تلامس مثبته بالرافعه . تقفل نقط التلامس عندما تتغلب قوة التشغيل على قوة الكبح .

ويمكن ان نحصل على حركة الرافعه بنفس فكرة الجذب (او الكباس) ، كما فى شكل (٢-٣٤) فعند مرور تيار بملف التشغيل يتولد مجال مغناطيسى يحدث قوة تشغيل ويقابلها قوة كبح نتيجة مرور تيار بملف الكبح ، فإذا تغلبت قوة التشغيل على قوة الكبح تميل الرافعه وينتج عن ذلك قفل نقط التلامس .

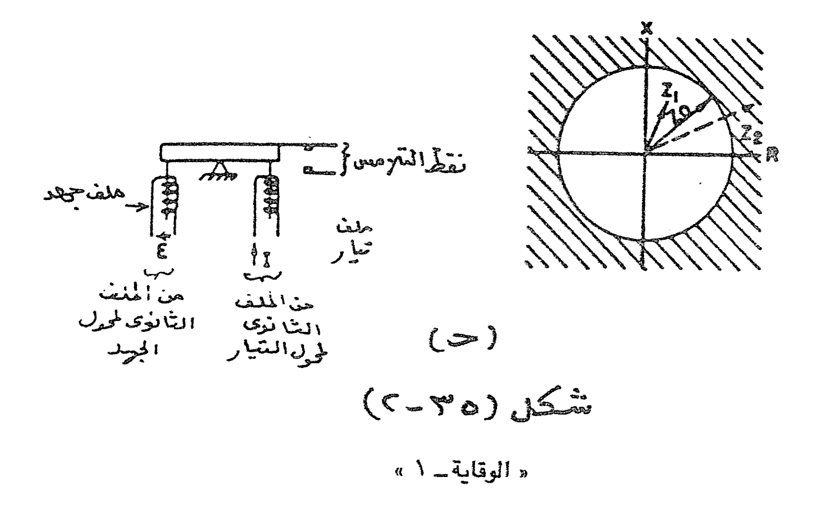
أويمكن ان نحصل على حركة الرافعه باستخدام قلب مغناطيسى ، كما فى شكل (٢-٣٥) أ اذا تغلبت قوة التشغيل على قوة الكبح تميل الرافعه وينتج عن ذلك توصيل نقط التلامس .


الى ملف فصل
قاطع التيار
ياى تحكم
رافعة
ملف التشغيل
الدائرة المغناطيسية
ملف الكبح

(أ)


نقط
التلامس
وزن أو ياى
t
I
0
1
2
3
4
5

(ب)


نقط التلامس
ملف جهد
ملف
تيار
من الملف
الثانوى لمحول
الجهد
من الملف
الثانوى
لمحول التيار
X
R

(حـ)

شكل (٣٥-٢)

ويوضح شكل (٣٥-٢) ب ، فكرة اخرى لمتمم اتزان الرافعه حيث نحصل على قوة التشغيل نتيجة مرور تيار بالملف وقوة الكبح من الياى . فعندما تتغلب قوة التشغيل على قوة الكبح تقفل نقط التلامس فنحصل على علاقة عكسية بين التيار والزمن ويبدأ المتمم فى العمل عندما تكون $I > I_o$ (تضبط قيمة بداية تشغيل المتمم عن طريق نقط تقسيم *(Taps)*على الملف وكذلك تضبط الثغره الهوائية *(air gap)*، الموجودة فى الدائرة المغناطيسية بواسطة مسمار القلب *(Core screw)* .

يوضح شكل (٣٥-٢) جـ نوع آخر لمتمم اتزان الرافعه يعمل بملف تيار وملف جهد . تتناسب قوة التشغيل مع التيار وتتناسب قوة الكبح مع الجهد . إذا تغلبت قوة التشغيل على قوة الكبح تقفل نقط التلامس ، وتكون خاصية المتمم عبارة عن دائرة نصف قطرهـا Z_0 تساوى

$$Z_o = E / I$$

وتعتبر المنطقة داخل الدائرة هى منطقة التشغيل ، اما خارج الدائرة فهى منطقة عدم اشتغال المتمم .

فكرة التشغيل :

لو أهملنا تأثير الياى والاحتكاك لاى نوع من متممات اتزان الرافعه فيكون العزم المؤثر مساوياً للفرق بين العزم الناتج من ملف التشغيل والعزم الناتج من ملف الكبح ولو فرضنا ان تغذية الملفين بالتيارين I_2, I_1 (كما فى شكل (٣٤-٢)) فان العزم المؤثر يساوى

$$T = K_1 I_1^2 - K_2 I_2^2$$

حيث

I_1 التيار المار بملف التشغيل

I_2 التيار المار بملف الكبح

K_2, K_1 ثوابت

نحصل على بداية التشغيل عندما يكون العزم المؤثر مساوياً للصفر اى عندما

$$K_1 I_1^2 = K_2 I_2^2$$

$$\therefore \quad \frac{I_1}{I_2} = \sqrt{\frac{K_2}{K_1}} = \text{قيمة ثابتة}$$

وتكون العلاقة بين I_2,I_1 كما فى شكل (٣٦-٢) ويلاحظ عند قيم التيارات الصغيرة ان العلاقة بين I_2,I_1 عبارة عن منحنى،نتيجة تأثير الياى والاحتكاك ، وعند قيم التيارات الكبيرة تكون العلاقة بينهما خطية .

يمكن ان يغذى احد الملفين بالتيار I والملف الآخر بالجهد E كما فى شكل(٣٥-٢) جـ وعندئذ نحصل على العلاقة

$$(E / I) = K = \text{قيمة ثابتة}$$

وهى فكرة تشغيل متمم المعاوقة *(Impedence relay)*

ويوضح شكل (٣٧-٢) الشكل الهيكلى لمكونات متمم اتزان الرافعه

ملامح عامة لمتممات اتزان الرافعه :

- يعتبر المتمم صعب التصميم والتنفيذ لقيم التيارات الكبيرة وذلك لان القوة (التشغيل مثلاً) تتناسب مع مربع التيار .
- يعتبر هذا المتمم من الانواع السريعة ويعمل لحظياً .
- يمكن الحصول على عامل استعادة مرتفع .
- درجة الدقة لهذا النوع اكبر من المتممات ذات الملف المغناطيسى الدائم بالاضافة الى عبء مخرج اقل .
- يمكن الحصول على عبء مخرج ٠,٢ - ٠,٤ - ٠,٦ ڤولت أمبير لحدود تيار من ٠,١ الى ٠,٦ امبير .

٣- متممات ذات القرص التأثيرى *Induction disc type*

يحتوى المتمم على قرص معدنى موضوع بين مغناطيسين ، وملف ملفوف على المغناطيس والذى يغذى من الملف الثانوى لمحول التيار ، ومثبت على محور القرص الطرف المتحرك من نقطة التلامس ، وعند دوران القرص يتحرك هذا الطرف ويلامس الطرف الثابت لنقطة التلامس كما فى شكل (٣٨-٢) .

وتوجد انواع متعدده من المتممات ذت القرص التأثيرى وجميعها يعتمد فى تشغيلها اساساً على احداث قوة لدوران القرص ناتجة من تخليق مجالين مغناطيسيين بينهما زاوية . وتكون معادلة قوة دوران القرص هى

$$F \propto \Phi_1 \Phi_2 \sin \theta$$

حيث Φ_1 , Φ_2 مجالين مؤثرين على القرص ، والزاوية بينهما θ .

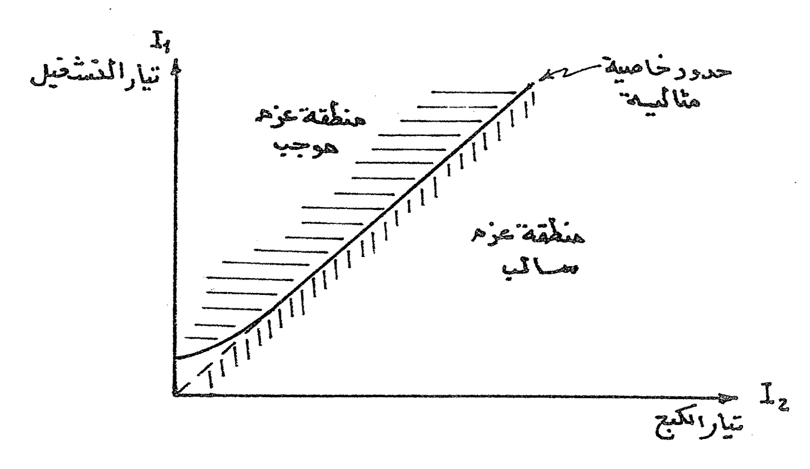
وفيما يلى بعض انواع المتممات ذات القرص التأثيرى .

يوضح شكل (٣٩-٢) النوع ذو القطب المظلل *Shaded pole induction disc relay* وفيه ينقسم جزء الدائرة المغناطيسية المحيط بالقرص الى جزئين ، كما فى شكل (٣٩-٢) ب وفى حالة تركيب حلقة من النحاس فى احد الجزئين ، يطلق على هذا الجزء اسم القطب المظلل ، فعند مرور تيار بالملف يتولد مجالين Φ_1 فى القطب المظلل ، Φ_2 فى القطب غير المظلل ، يحدث الفيض Φ_1 قوة دافعه كهربية E_1 فى القرص ، بزاوية اختلاف ٩٠° كما فى شكل (٣٩-٢) جـ ، وتحدثE_1 تيارI_1 ، ومركبة I_1 فى أتجاه Φ_2 تساوى$(I_1 \, Cos \, \alpha)$ويدور القـــرص نتيجـــة عـزم يتناسب مع $(\Phi_2 I_1 \cos \alpha)$ او نتيجة عزم يتناسب مع $(\Phi_1 \Phi_2 \sin \theta)$.

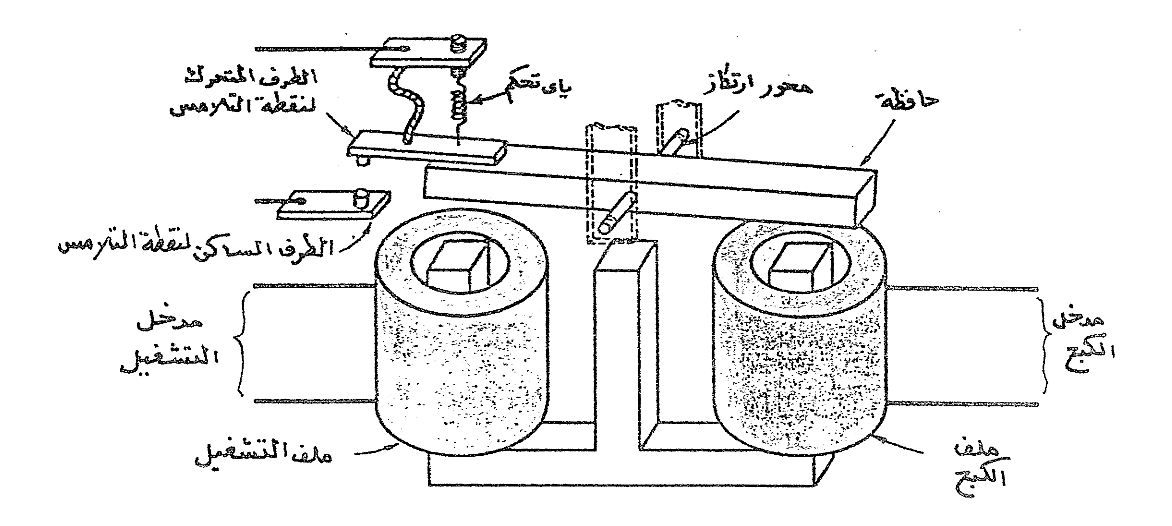
ويوضح شكل (٤٠-٢) أ دائرة كاملة للمتمم ذى القطب المظلل ، ويلاحظ من الشكل انه يمكن التحكم فى ضبط قيمة التيار الذى يبدأ عنده عمل المتمم ، بواسطة سداده ، وبتغيير مكانها يمكن تغيير عدد لفات ملف التيار ، وبعمل قصر على الدائرة المغناطيسية وضبط قيمة التشبع يمكن الحصول على علاقة عكسية بين التيار والزمن .

ويوضح شكل (٤٠-٢) ب متمم ذو قرص تأثيرى ـ عداد وات ساعة *(Watt-hour meter type induction disc relay)* . يتكون من مغناطيس علوى على شكل حرف E وأخر على شكل حرف U وبينهما قرص حر الحركة . ينتج من المغناطيس العلوى Φ_1 وينتج من السفلى Φ_2 ويتم ضبط الزاوية θ بينهما بواسطة الممانعه المضافة على التوازى مع الملف الثانوى . وعن طريق عمل تقسيم *(Taps)* على الملف الابتدائى يمكن ضبط قيمة التيار التى يبدأ عندها عمل المتمم .

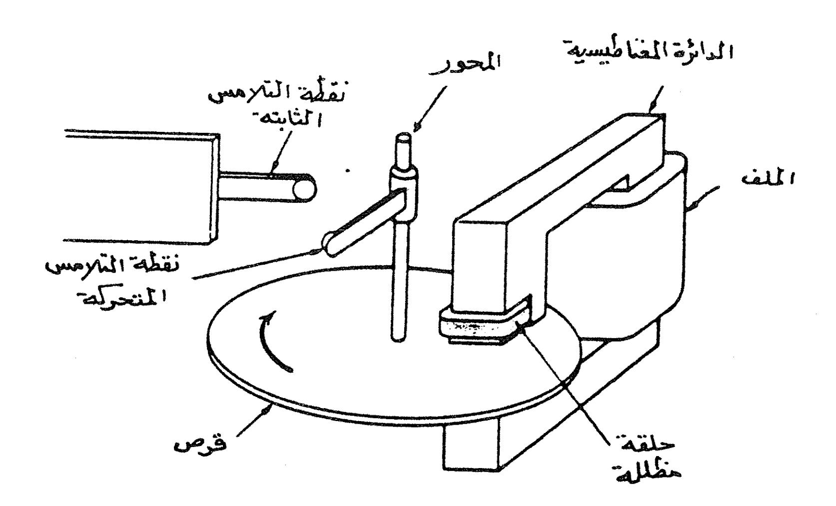
ويوضح شكل (٤٠-٢) جـ النوع الاكثر شيوعاً فى الولايات المتحدة الامريكية وفى المانيا حيث يكون كل من المغناطيس العلوى والسفلى على شكل حرف E . ونحصل منه



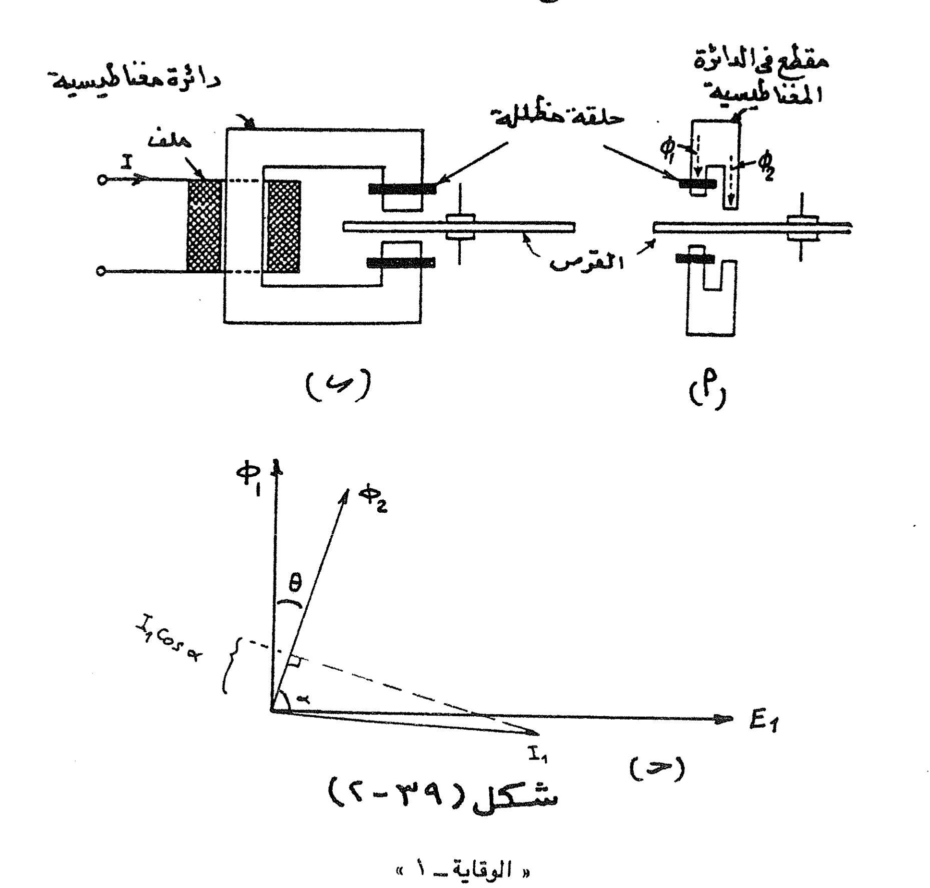
شكل (٣٦ - ٢)



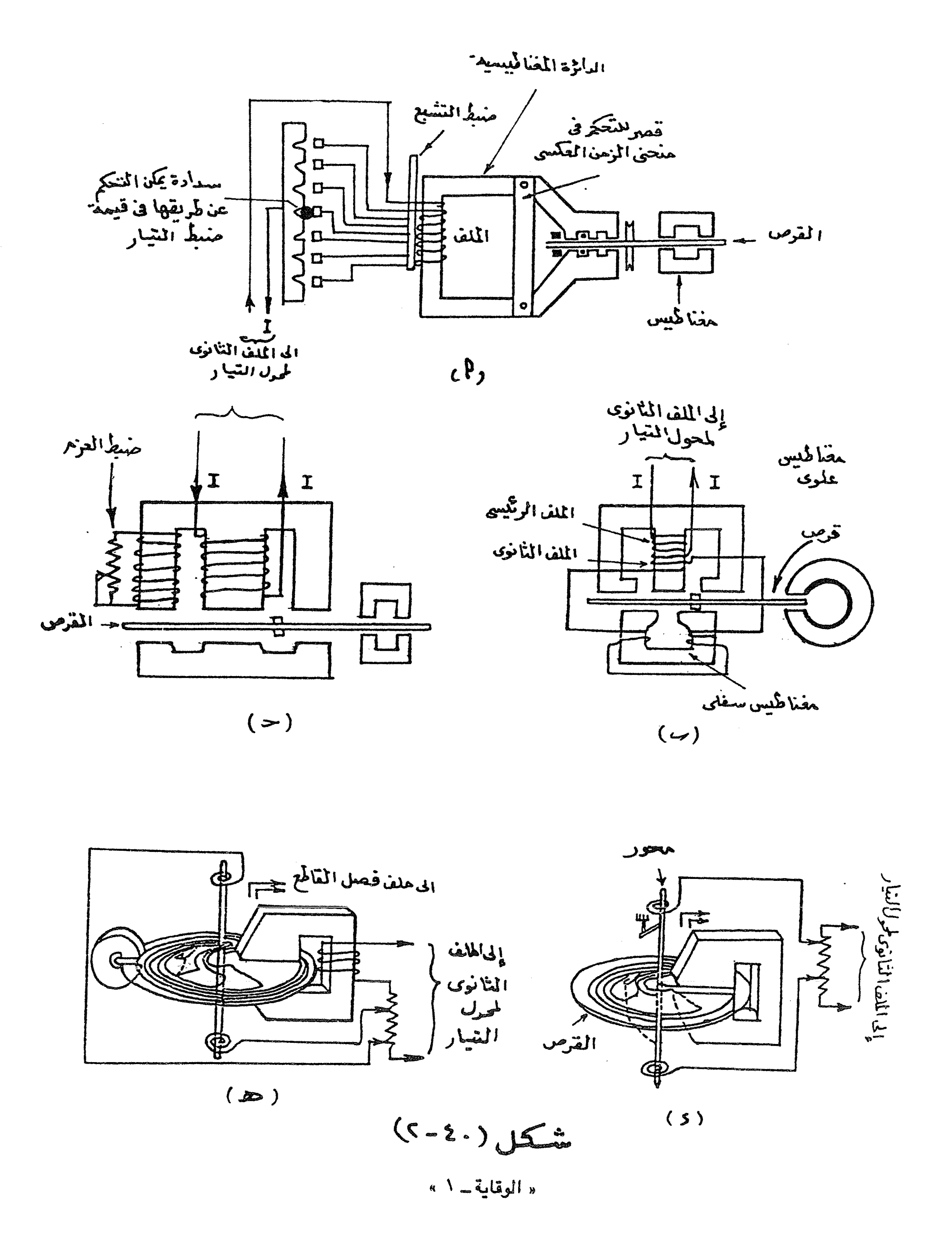
شكل (٣٧ - ٢)



شكل (٣٨-٢)



شكل (٣٩-٢)



الدائرة المغناطيسية
ضبط التشبع
قصر للتحكم فى منحنى الزمن العكسى
سدادة يمكن التحكم عن طريقها فى قيمة ضبط التيار
الملف
القرص
مغناطيس
الى الملف الثانوى لمحول التيار
(أ)
ضبط العزم
القرص
(حـ)
إلى الملف الثانوى لمحول التيار
مغناطيس علوى
الملف الرئيسى
الملف الثانوى
قرص
مغناطيس سفلى
(ب)
الى حلف فصل القاطع
إلى الملف الثانوى لمحول التيار
(هـ)
محور
القرص
(د)

شكل (٤٠ - ٢)

ايضاً على خاصية عكسية بين التيار والزمن .

ويوضح الشكلان (٤٠-٢) ء ، هـ متمما ذو قرص مطبوع *(Printed disc relay)* واحياناً يطلق على اى منهما متمم من النوع الديناموميتر *(Dynamometer type)*، يمر بالقرص جزء من التيار الثانوى المار بمحول التيار ، وجزء التيار الآخر يغذى المغناطيسى بالطاقة ، والذى يكون مسئولاً عن دوران القرص وبذلك يدور القرص نتيجة لتقاطع جزئ التيار . نتبين من الشكل (٤٠-٢) ء خاصية عكسية بين التيار والزمن . بينما من الشكل (٤٠-٢) هـ نحصل على خاصية بين التيار والزمن تعتمد على العلاقة $I^2 t = K$ حيث K ثابت .

من هذا نجد ان العلاقة بين التيار والزمن علاقة عكسية وتنطبق تلك العلاقة بشكل عام على جميع انواع المتممات ذات القرص . كما فى شكل (٤١-٢) ، بمعنى انه كلما زادت قيمة التيار بملف المتمم كلما كان زمن توصيل نقط التلامس (أى زمن التشغيل) صغيراً جداً .

وتستنتج معادلة العزم نتيجة حدوث المجالين المغناطيسيين Φ_2,Φ_1 فى القرص ، كما فى شكل (٤٢-٢) ، كالآتى :

$$\Phi_1 = \Phi \sin \omega t$$

$$\Phi_2 = \Phi \sin (\omega t + \theta)$$

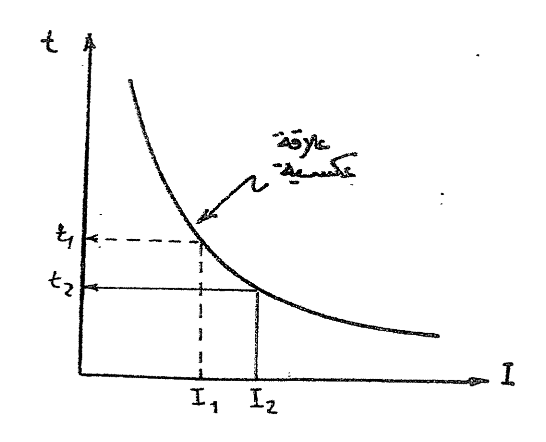
حيث θ زاوية الاختلاف بين المجالين (الفيض المغناطيسى) Φ_2,Φ_1 وكل منهما عبارة عن موجه جيبية ، أيضاً كل منهما يحدث تياراً إعصارياً فى القرص كالآتى :

$$i_{\phi 1} = -\frac{d\Phi_1}{dt} \propto \Phi \cos \omega t$$

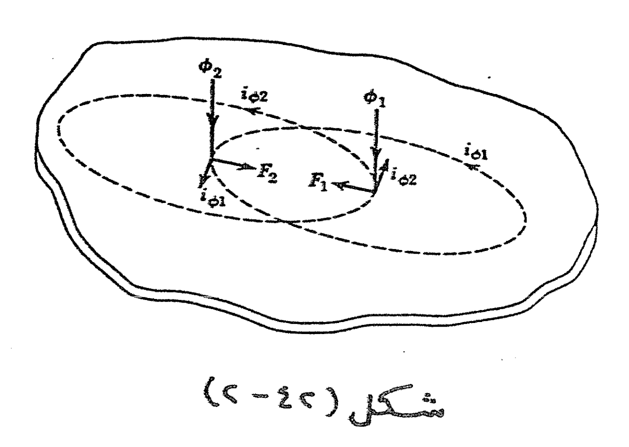
$$i_{\phi 2} = -\frac{d\Phi_2}{dt} \propto \Phi \cos (\omega t + \theta)$$

وتكون القوة المؤثرة F تساوى :

$$F = F_2 - F_1$$



شكل (٤١-٢)



شكل (٤٢-٢)

$F_1 \propto \Phi_1 \, i_{\Phi 2}$

$F_2 \propto \Phi_2 \, i_{\Phi 1}$

$\therefore \; F \propto \Phi_2 \, i_{\Phi 1} - \Phi_1 \, i_{\Phi 2}$

$\therefore \; F \propto \Phi_1 \Phi_2 \, [\, \sin(\omega t + \theta) \cos \omega t - \sin \omega t \cos(\omega t + \theta)]$

$\therefore \; F \propto \Phi_1 \Phi_2 \sin \theta$

ضبط الزمن والتيار فى المتممات ذات القرص التأثيرى :

يختلف المنحنى العكسى للعلاقة بين التيار والزمن من نوع الى آخر ويكون واحداً من هذه الخصائص : عكسى *Inverse* او عكسى جداً *very inverse* او العاكسى المتناهى *Extremely inverse* ، كما فى شكل (٤٣-٢) .

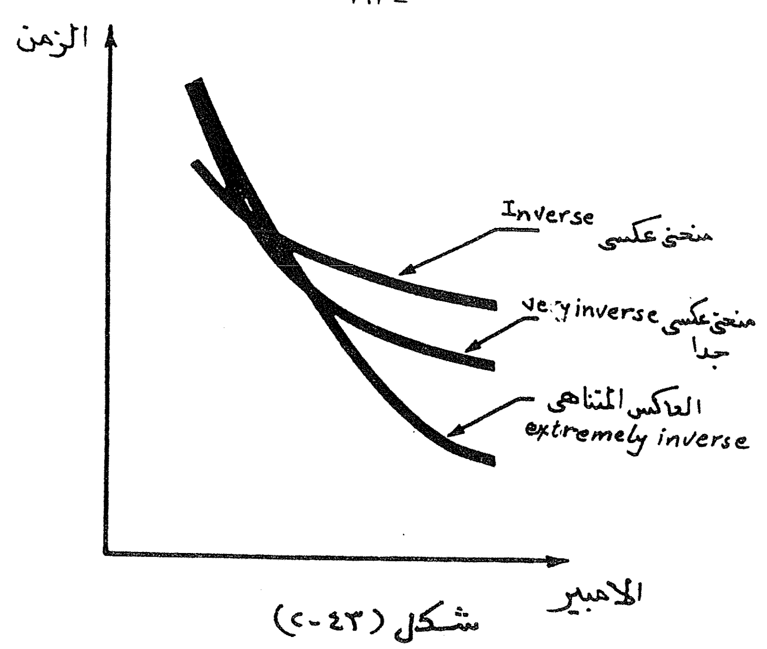
ويضبط الزمن من خلال قرص مدرج *(Dial)* يحتوى على مضاعفات للزمن *Time multiplier setting*، بتغيير وضع القرص المدرج نحصل على منحنى آخر للعلاقة بين *t,I* كما فى شكل (٤٤-٢) والذى يوضح امكانية تغيير ضبط القرص المدرج من ٠,٥ الى ١٠ ونلاحظ عند تغيير وضع ضبط القرص تتغير المسافة بين نقطة التلامس المتحركة والثابتة .

ويتم اختيار قيمة ضبط تيار التشغيل للمتمم عن طريق سدادة اصبعية *(plug)* وبواسطتها يمكن تغيير عدد لفات ملف التيار للمتمم .

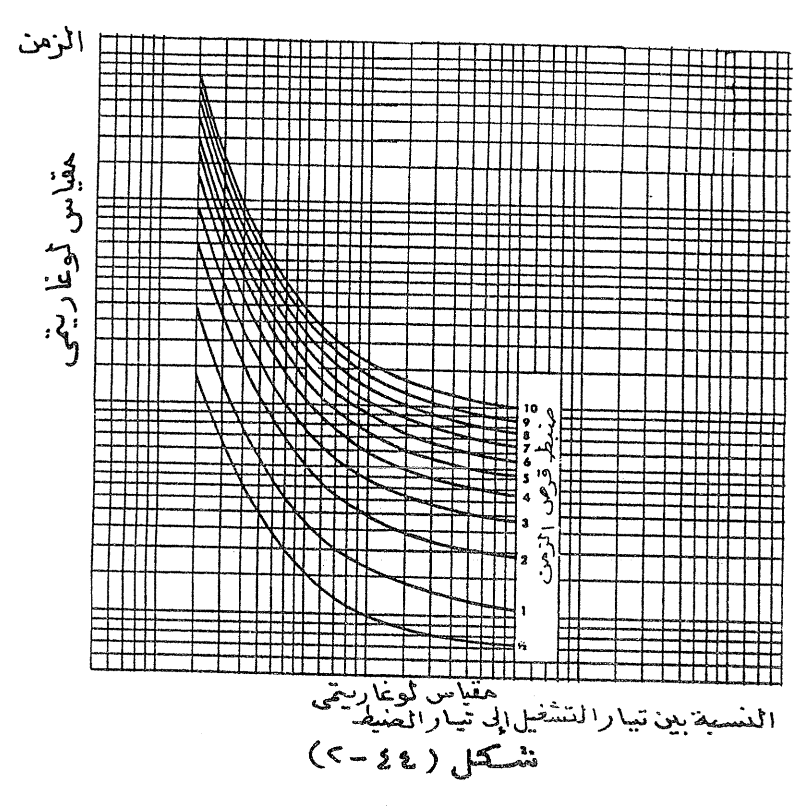
٤ - متممات ذات الصحن التأثيرى *Induction cup relays*

تحتوى الدائرة المغناطيسية للمتمم على عدد من الاقطاب (٢ او ٤ او ٨ مثلاً) ، ويوجد ملف على كل قطب ، كما يوجد قلب حديدى ثابت *(Stationary iron core)* بمركز الاقطاب ، اما الجزء المتحرك بالمتمم فعباره عن صحن معدنى اسطوانى مفرغ *(Hollow metallic cylinderical cup)* ويتحرك الصحن بحرية بين القلب الحديدى وبين الاقطاب وهناك انواع مختلفة منها :

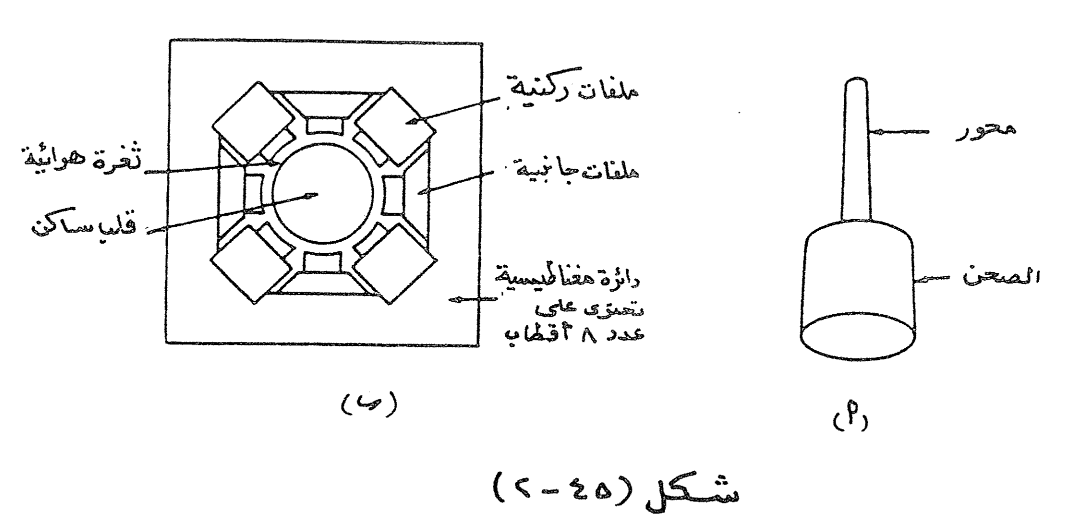
- متمم على شكل الصحن المعدنى *(cup)* ، كما فى شكل (٤٥-٢) أ له قلب حديدى يحتوى على عدد ثمانية اقطاب ، كل قطب ملفوف عليه ملف كما هو موضح فى شكل (٤٥-٢)ب .



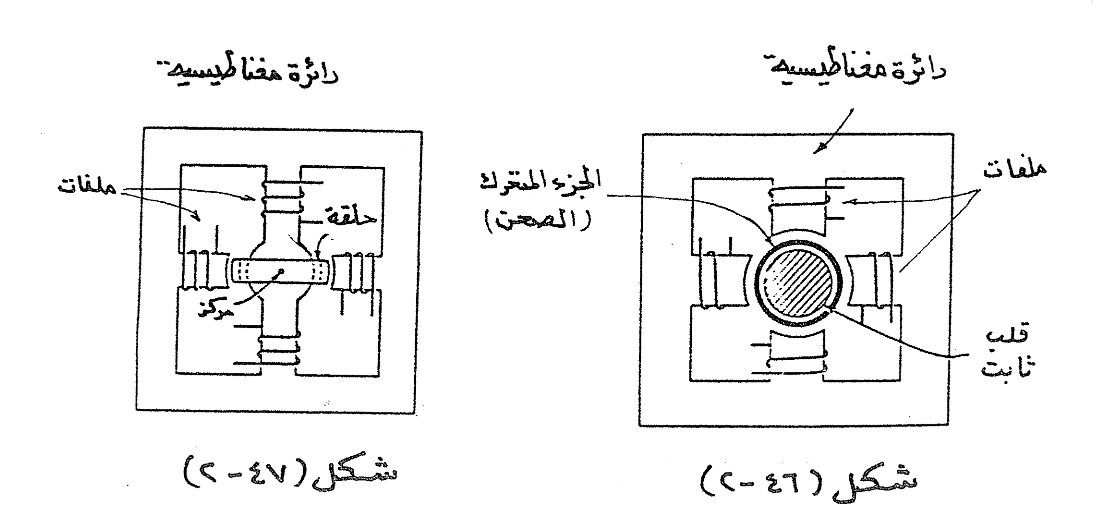
شكل (٢-٤٣)



شكل (٢-٤٤)



شكل (٤٥-٢)



شكل (٤٧-٢)

شكل (٤٦-٢)

- متمم ذو اربعة اقطاب ، وقلب حديدى فى مركز الدائرة المغناطيسية ، يوضحه شكل (٢) ، ويتحرك الصحن بين القلب والدائرة المغناطيسية .

- متمم من النوع التأثيرى يحتوى على حلقة او عروة *(Loop)* وهى الجزء المتحرك *(rotor)* فى المتمم ، كما فى شكل (٤٧-٢) ، ويعتبر هذا النوع اكثر الانواع التأثيرية كفاءة ..

- متمم يحتوى على حلقتين (عروتين) متعامدتين ، ويعتبران الجزء المتحرك*(rotor)* فى المتمم ، كما فى شكل (٤٨-٢) أ .

- متمم تأثيرى من النوع القديم ، شكل (٤٨-٢) ب ، يحتوى على قطبين فقط ، يتحرك الصحن *(Cup)* بين القطبين والقلب ، فيتولد مجالان مغناطيسيان Φ_2,Φ_1 متعامدان يتسببان فى إحداث تيارات اعصارية *Eddy current* فى الصحن وبالتالى يتولد عزم .

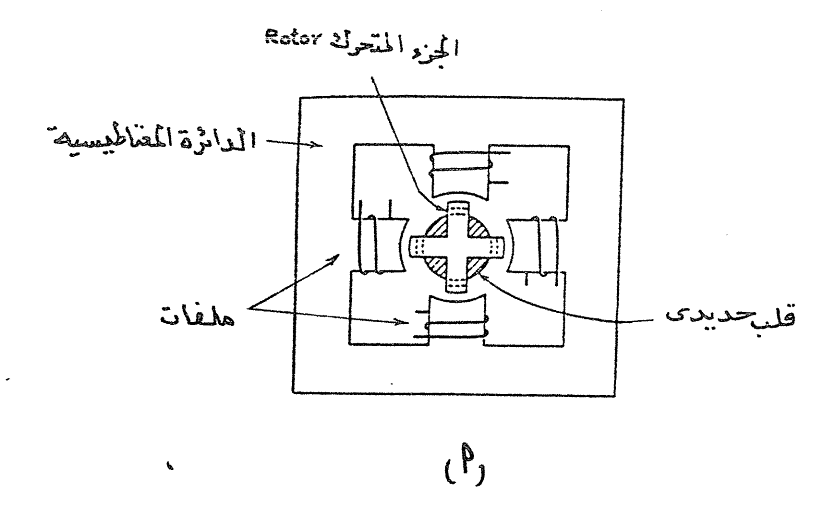
واكثر المتممات شيوعاً هى المحتوية على عدد اربعة اقطاب او اكثر ، وتحتوى المتممات على ذراع متصل بعامود دوران الصحن وبواسطته يتم التحكم فى نقط التلامس ، كما هو موضحاً بالرسم الهيكلى التركيبى بشكل (٤٩-٢) .

٥ - متمم ذو ملف متحرك بمغناطيس دائم *Permanent magnet moving coil relay*

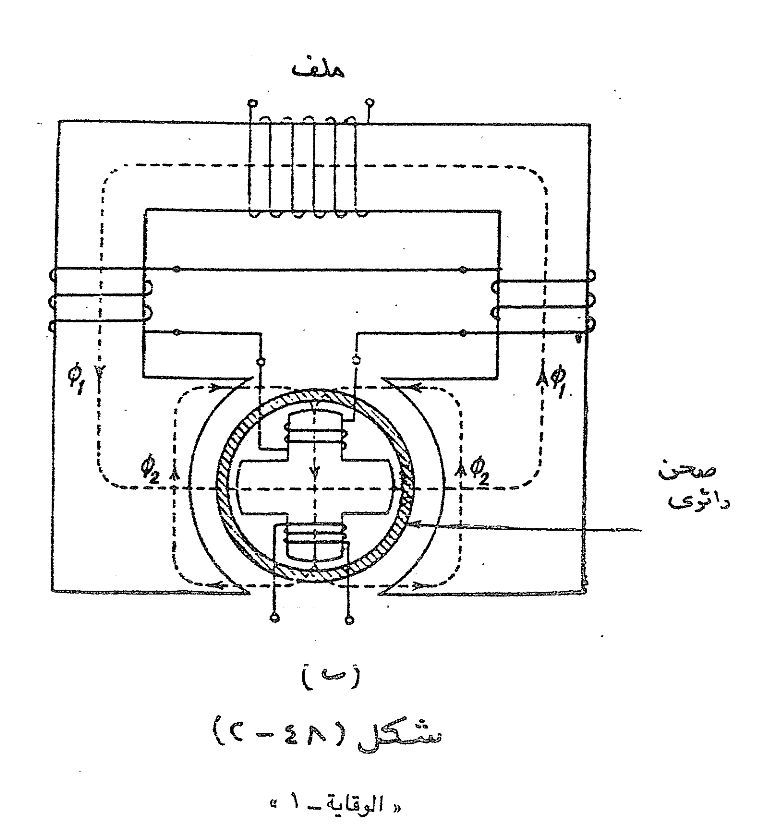
يعتبر المتمم ذو الملف المتحرك من اكثر المتممات الكهرومغناطيسية حساسية فى استخدامات نظم الوقاية . ويستخدم بتوسع فى أنظمة القدرة ذات التيار المستمر ويمكن من خلال موحد التيار ان يعمل لانظمة القدرة ذات التيار المتردد .

ويتضح من شكل (٥٠-٢) فكرة المتمم ، حيث ان الملف له حرية الدوران بين قطبى مغناطيس عند مرور تيار بالملف ، فينتج عزم من تداخل المجال الناتج من المغناطيس الدائم والمجال الناتج من الملف . كما ان تثبيت نقط التلامس المتحركة على محور الملف يساعد على اتصال نقطتى التلامس عند الحركة وبذلك نحصل على علاقة عكسية بين التيار والزمن كما فى شكل (٥١-٢) .

ويوضح شكل (٥٢-٢) متمم ذو ملف متحرك دوار *(Rotary Moving Coil Relay)*يمتاز هذا النوع بأنـه يحتـوى على مجموعة من نقط التلامس ، ومحاور من

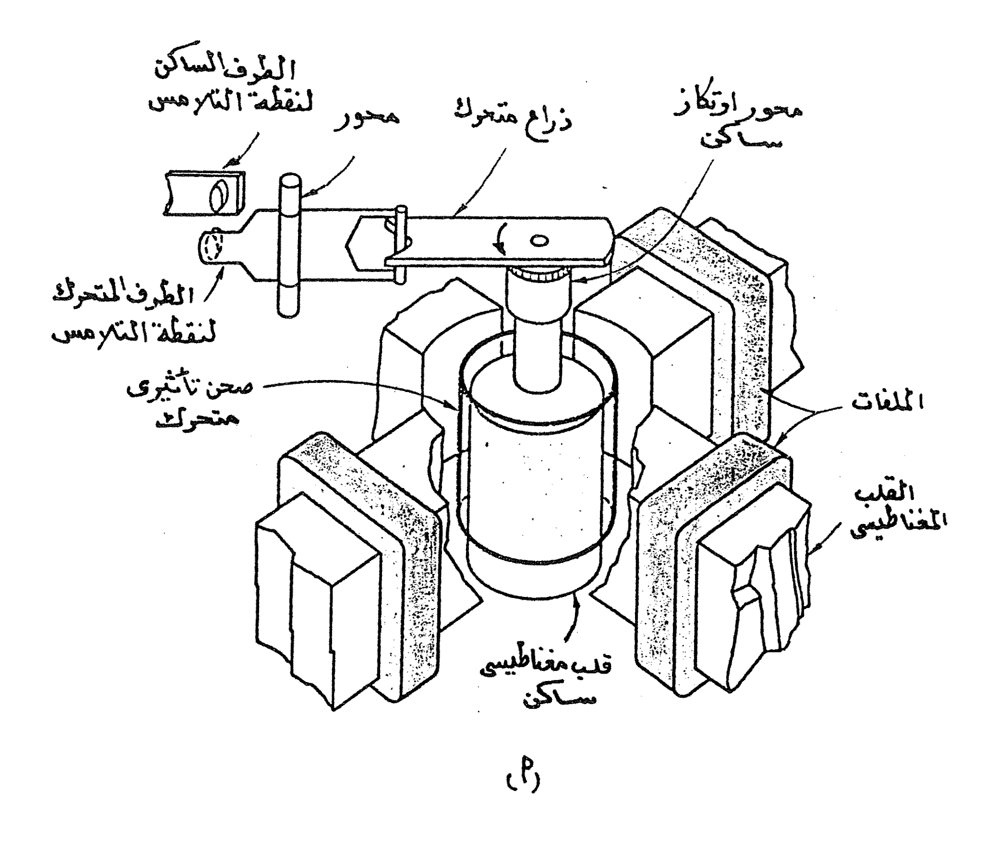

الجزء المتحرك Rotor
الدائرة المغناطيسية
ملفات
قلب حديدى

(أ)

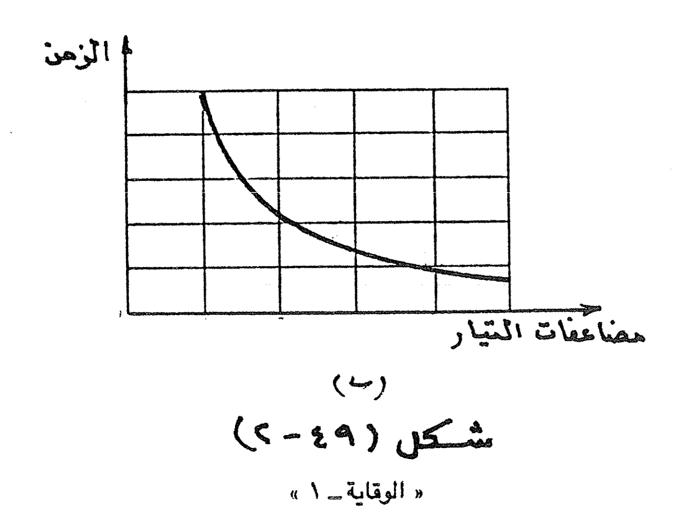

ملف
ϕ_1
ϕ_1
ϕ_2
ϕ_2
صحن
دائرى

(ب)

شكل (٤٨ - ٢)

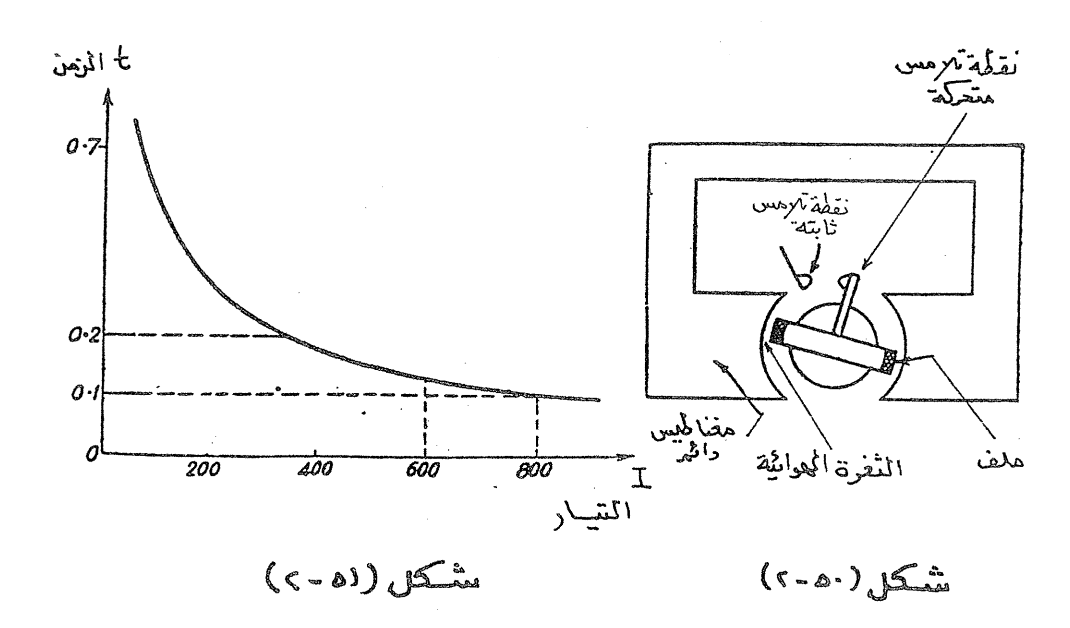

الطرف الساكن
لنقطة التلامس
محور
ذراع متحرك
محور ارتكاز
ساكن
الطرف المتحرك
لنقطة التلامس
صحن تأثيرى
متحرك
الملفات
القلب
المغناطيسى
قلب مغناطيسى
ساكن

(أ)


الزمن
مضاعفات التيار

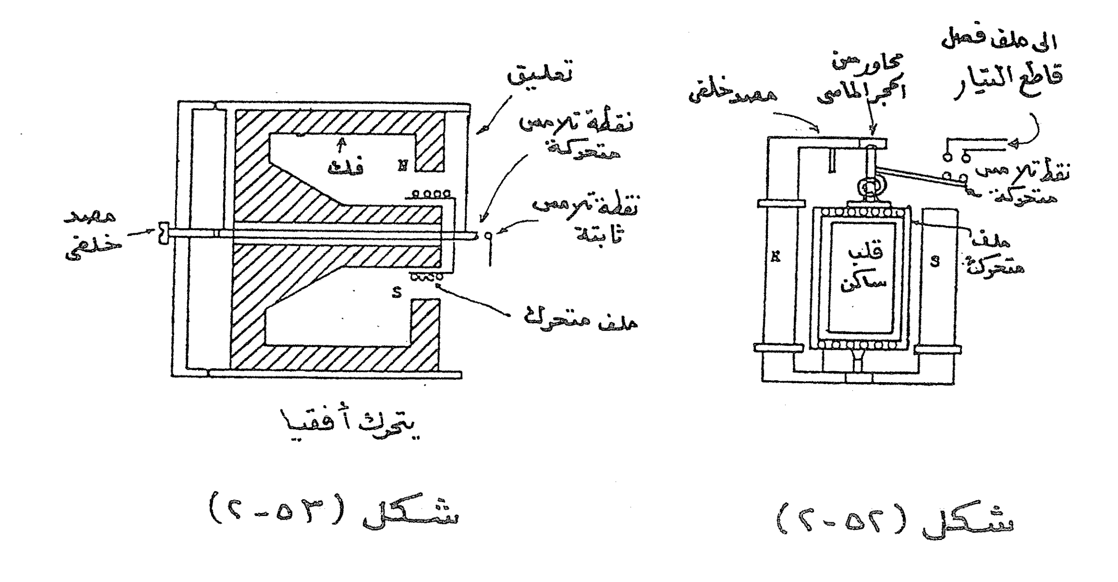
(ب)

شكل (٤٩ - ٢)



شكل (٥١-٢)

شكل (٥٠-٢)



شكل (٥٣-٢)

شكل (٥٢-٢)

الحجـر الماسى ، حيث ان مكونات المتمم الخفيفة تجعل نسبة العزم الى الوزن كبيرة جداً .

وهناك نوع آخر اكثر حساسية من المتمم ذو ملف متحرك دوار ، وهو المتمم ذو ملف متحرك محورى *(Axially moving coil relay)*، كما فى شكل (٢-٥٣) ، وذلك لاحتوائه على ثغرة هوائية اصغر . فعند مرور تيار بالملف تتحرك نقطة التلامس المتحركة افقياً . وتعتمد سرعة التشغيل على وسيلة الاخماد *(Damping)* ، يلاحظ انه عند استخدام ملف اخماد *(damped coil)* له اطار الومنيوم مناسب ، فاننا نحصل على اقل زمن (حوالى عدد ٢ دوره) كما يمكن استخدام اطار نحاسى للحصول على اخماد اثقل ولكن على حساب زمن التشغيل الذى يصبح اطول .

ومعادلة قوة التشغيل هى :

$$F \propto N H I L$$

حيث :

F = القوة

H = متجه المجال المغناطيسى بالثغرة الهوائية

I = التيار المار بالملف

L = طول الملف

بينما معادلة عزم التشغيل هى

$$T = 2\,r\,F$$

حيث r = نصف قطر الملف

يعتبر العزم منتظماً *(uniform)* للاوضاع المختلفة للملف ، ويمكن الحصول على قيمة استرجاع *(reset)* تساوى قيمة التشغيل *(Pick up)* .

يوضح شكل (٢-٥٤) أ هيئة وحدة متمم ذو ملف متحرك مستخدمة كعنصر اتجاهى *(Directional element)* فى جهاز وقاية مسافية انتاج المانيا الشرقية (سابقاً) كما يوضح شكل (٢-٥٤) ب هيئة وحدة متمم ذو ملف متحرك مستخدمة كعنصر قياس

(Measuring Element) فى جهاز وقاية تفاضلى انتاج شركة براون بوفيرى (BBC) (كل وحدة متمم ذو ملف متحرك خاصة بأحد الاوجه) .

٦- نظم متممات التوحيد *Rectifier relay system*

سبق ان ذكرنا ، ان المتمم ذو الملف المتحرك يغذى بتيار مستمر *d.c* وأنه فى حالة الاحتياج لتغذيته بتيار متردد *a.c* فتضاف موحدات تيار لتحويل التيار المتردد الى تيار مستمر وتوصيله على ملف المتمم .

يمكن تمثيل متمم ذو ملف متحرك كما فى شكل (٥٥-٢) أ يحتاج تشغيله الى كمية كهربائية واحدة *(Relay for one quantity)*، يتكون من ثلاثة اجزاء هى

– المدخل وهو عبارة عن مقاومة لضبط قيمة التيار التى يراد اشتغال المتمم عندها *(Pick up)* ومحول مساعد لتحويل الكمية الى قيمة مناسبة للتيار ويعتبر المحول أيضاً كمعدة عازلة بين دوائر المدخل ودائرة التوحيد .

– دائرة التوحيد عبارة عن قنطرة توحيد موجه كامله *(Full wave bridge)*

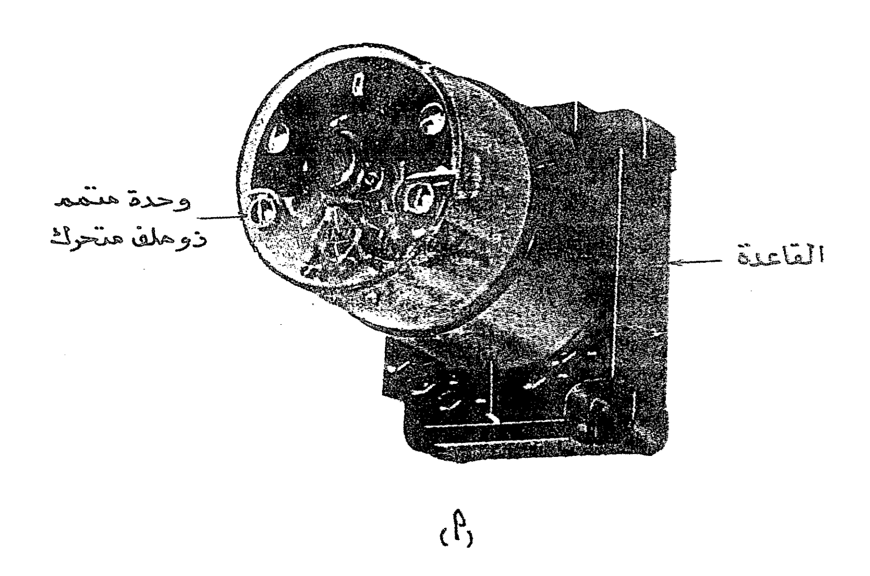
– متمم ذو ملف متحرك ـ يتم تغذية ملفة من مخرج دائرة التوحيد خلال مقاومة على التوازى وأخرى على التوالى لضبط قيمة التيار التى يعمل عندها المتمم وتستخدم نقط تلامس المتمم ذو الملف المتحرك لاعطاء اشارة لفصل قاطع التيار للمعدة المركب عليها هذا المتمم .

عند الاحتياج لمقارنة كميتين سواء بالاضافة او بالطرح او الضرب . فتستخدم الدائرة فى شكل (٥٥-٢) ب والتى يطلق عليها متمم ذى كميتين *(Relay for two quantities)*. حيث يتكون من دائرتى مدخل ودائرتى توحيد مخرجهما يغذى ملف المتمم ذى الملف المتحرك . ومخرج دائرتى التوحيد يعتبر عملية حسابية للقيم فقط ولايعتمد على الزاوية او التردد ، وتتحرك نقطة التلامس المتحركة للمتمم فى اتجاه نقط التلامس الثابته *(Tripping direction)* او تظل ثابته فى موضعهما اعتماداً على قيمة التيار المار بملف المتمم .

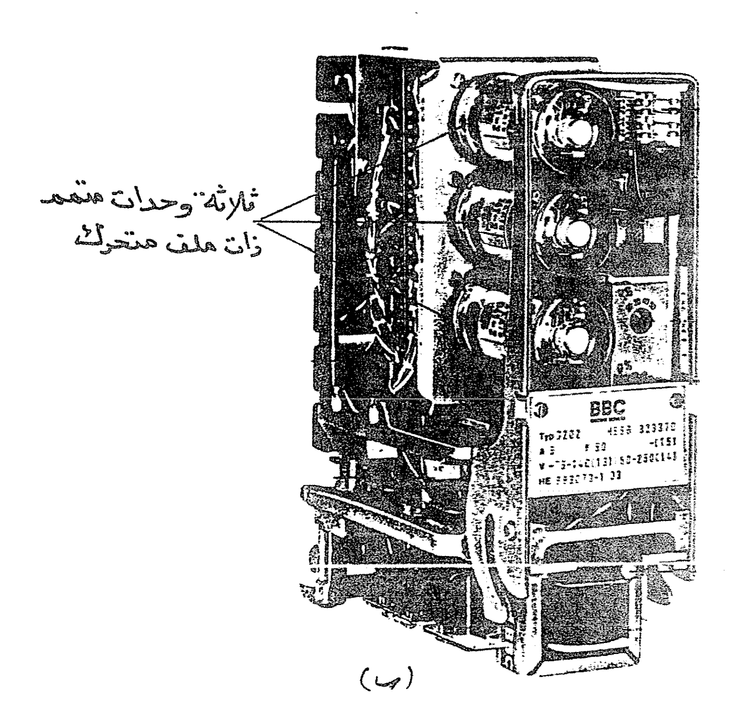
٧- متممات حرارية ـ متممات ثنائية المعدن ـ ازدواج حرارى

Thermal relays, bimetal relays, thermocouples

تعمل المتممات الحرارية بالتأثير الحرارى الناتج من مرور تيار كهربى . وعموماً فهذه المتممات لاتقيس درجات الحرارة مباشرة ، ولكن نتيجة مرور تيار كهربى يحدث ارتفاع فى درجة الحرارة فيتأثر المتمم الحرارى وهو مايعرف بالتأثير الكهروحرارى *Electro*


وحدة متمم
ذو ملف متحرك
القاعدة

(أ)


ثلاثة وحدات متمم
ذات ملف متحرك
BBC

(ب)

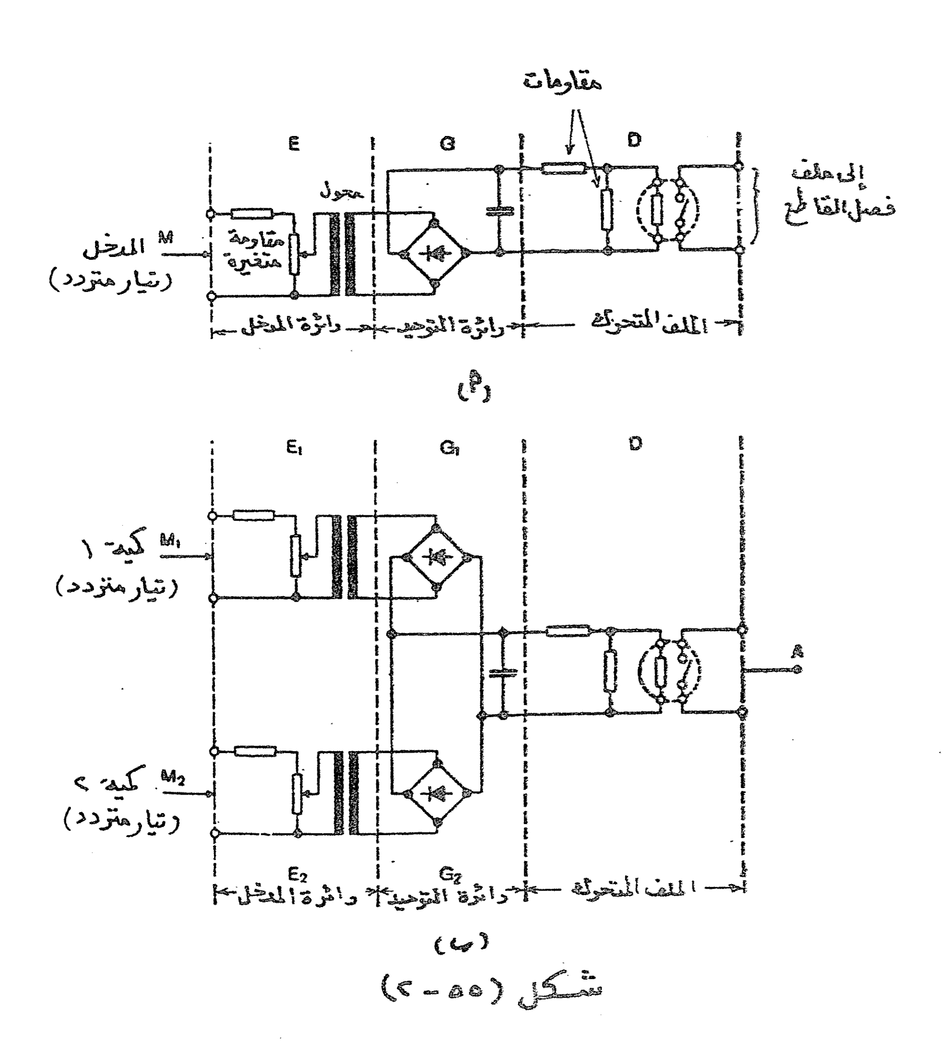
شكل (٤٥-ج)

thermal ويمكن ان يكون التيار الكهربى المار بالمتمم الحرارى هو تيار احد الاوجه *(Line current)* أو يكون تيار عدم الاتزان بالثلاثة اوجه . والذى ينتج عنه تيار المركبة التتابعية السالبه *(Negative sequence component)* والتى بدورها تتسبب فى ارتفاع درجة الحرارة ومن أبسط أنواع المتممات الحرارية ، المتمم الحرارى المستخدم فى دائرة بدء حركة المحرك *(Motor starter)* وهو عبارة عن متمم يعمل عند ارتفاع درجة الحرارة عن قيمة معينة ويتكون من شريحة من معدنين مختلفين *(Bimetallic)* مثبته اعلى ملف سلك ملفوف كمسخن . فعند مرور تيار بالملف يحدث انحراف للشريحة المعدنية والتى بدورها توصل نقط التلامس (يمكن الاستغناء عن ملف التسخين ويمر التيار مباشرة بالشريحة) ويكون لكل من معدنى الشريحة المعدنية الثنائية *(Bimetal)* معامل تمدد حرارى مختلف *(Coefficient of thermal expansion)*، فعند حدوث ارتفاع فى درجة الحرارة يحدث تمدد لاحدهما اكثر من الآخر ، وهذه الشريحة تكون ثابته ، لذلك فان التمدد يحدث بها انحناء ، وقد استخدم هذا التأثير للحصول على نقط تلامس ، كما هو واضح فى شكل (٥٦-٢) أ .

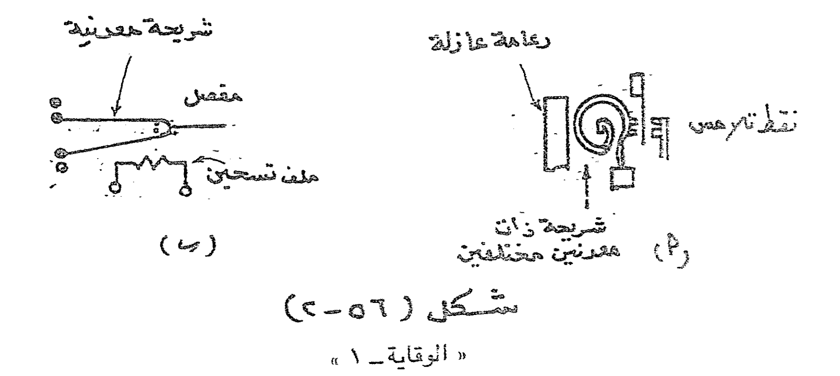
وقد تستخدم احياناً شريحة من معدن احادى *(Unimetallic type)* رفيع قابل للثنى ، مثبته مفصلياً ، كما فى شكل (٥٦-٢) ب ، وعند مرور تياربملف التسخين تتمدد الشريحة مسببه توصيل نقط التلامس .

يوضح شكل (٥٧-٢) متمم زيادة حمل ثنائى المعدن *(Bimetalic overload relay)* ذو تأخير زمنى *(Time delay)*. عند مرور تيار بقيمة معينة بملف التسخين يحدث انحناء الشريحة *(B)* مسبباً توصيل نقط التلامس *(C)* . ويمكن ضبط الزمن عن طريق المؤشر *T* اى عن طريق شد او ارتخاء الياى *(S)* .

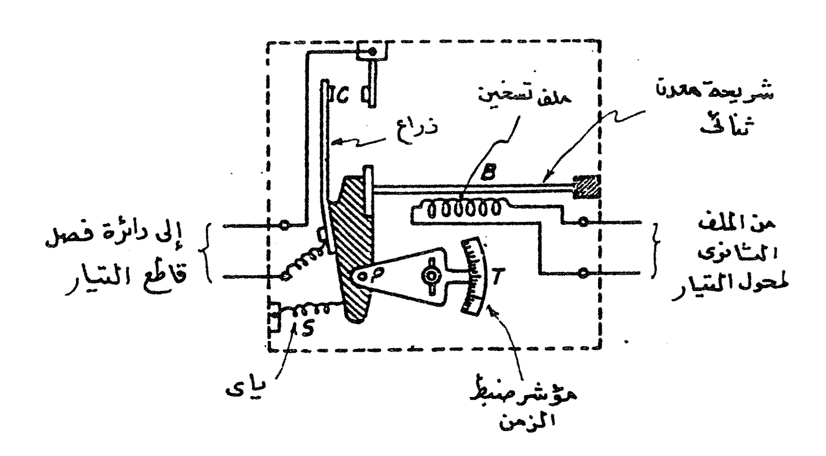
كما يوضح شكل (٥٨-٢) متمم ثرمستور *(Thermistor relay)*، يتكون من قنطرة هويتستون *(Wheatstone bridge)* التى تحتوى احد فروعها على العنصر الحرارى وهو الثرمستور Th_1 (عبارة عن مقاومة ذات معامل حرارى سالب كبير) اما الفروع الاخرى فتحتوى على ثرمستور تعويض درجة حرارة Th_2 والمقاومتين R_4,R_5 . عندما ترتفع درجة الحرارة تتغير مقاومة العنصر الحرارى مسببة عدم اتزان القنطرة وبالتالى اشتعال ملف المتمم .



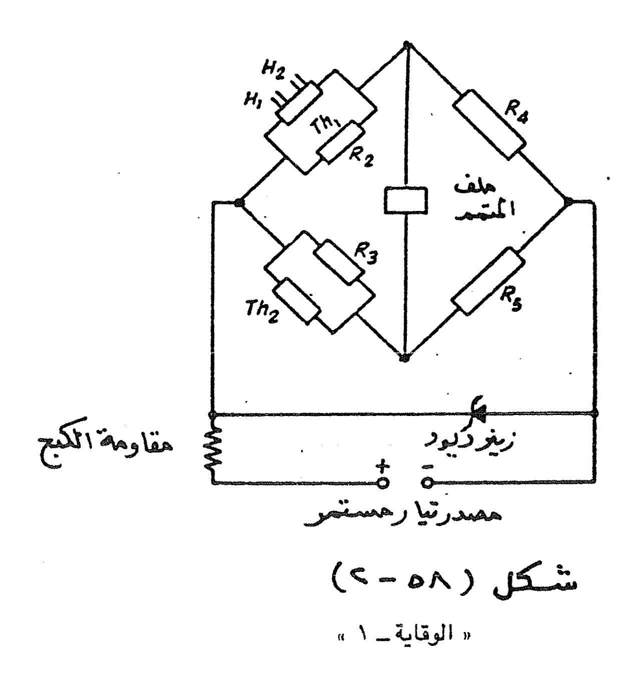
شكل (٥٥-٢)



شكل (٥٦-٢)



شكل (٥٧ - ٢)



شكل (٥٨ - ٢)

انتشر مراقب درجـات الحـرارة (Temperature controller) ومبين درجات الحرارة (Temperature indicator) المستخدمة للازدواج الحرارى (Thermocouple) انتشار واسعاً لحدود درجات الحرارة العالية (أعلى من ٦٠° م) ،

والمستخدمة ايضاً فى متممات الوقاية ويتكون الازدواج الحرارى من وصلة من مادتين مختارتين ، يتم توصيلها مع الدائرة الكهربائية ، يسمى احد الطرفين الوصلة الساخنة (Hot junction) . ويسمى الآخر الوصلة الباردة (Cold junction). يحدث أختلاف درجة الحرارة بين الوصلتين قوة دافع كهربائية *emf* تقاس بعنصر ملف متمم متحرك حساس (Sensitive moving coil) .

تعتمد أجهزة قياس درجة حرارة المقاومة (Resistance temperature measuring Devices) على ان مقاومة الموصل (او السلك) تزيد بزيادة درجة الحرارة ويستخدم التغيير فى قيمة المقاومة لقياس درجة الحرارة . فى المولدات الكبيرة يتم قياس درجة حرارة ملفات العنصر الثابت باستخدام مبين درجة حرارة المقاومة Resistance temperature indicator . اما فى المحركات ثلاثية الاوجه ، فيستخدم متمم ثنائى المعدن ذو ثلاثة أقطاب ، عند انحناء شريحة المعدن ، تتحرك رافعة تعمل على تشغيل نقط تلامس ، والتى تتصل بدائرة فصل قاطع التيار .

تسخن الشريحة مباشرة عند مرور تيار زيادة الحمل بها او عن طريق استخدام ملف تسخين ، وفى المحركات الكبيرة يستخدم محول تيار لتغذية الشريحة من الملف الثانوى له .

وتستخدم ايضاً متممات ذات سبيكة يوتكتيية (اصهرية)Eutectic alloy ، الحد الادنى لنقطة الانصهار منخفضة جداً ، وتملء انبوبة بالسبيكة ، وتحاط بملف المتمم والذى يتصل على التوالى مع دائرة المحرك عندما يزيد تيار المحرك ، ترتفع درجة الحرارة وعند قيمة معينة تبدأ السبيكة فى الانصهار ، وتتحرر السقاطة وعلى ذلك تقفل نقط التلامس عن طريق الحركة الميكانيكية للياى (Spring) وفى الحالات العادية تكون نقط التلامس مفتوحة وبعد اشتغال المتمم يفصل الملف وتبرد السبيكة وتصبح صلبة مرة أخرى .

ويغمر ثرموستات الملفات (Thermostat winding) بين ملفات المحرك ويكون عادة

عبارة عن انبوبة تحتوى على شريحة من معدنين *(Bimetal)* تعمل على تشغيل مفتاح سريع الوصل والقطع *(Shap switch)* يعطى اشارة لفصل المحرك او لفصل قاطع التيار .

٨ - المتممات الاتجاهية *Directional relays*

المتممات الاتجاهية هى المتممات التى تتأثر بقيمة واتجاه الكميات الكهربائية (القدرة ، التيار ....) ولذلك تعتمد اساساً على قطبية كل من محولات التيار والجهد ، وبمعنى آخر فان المتممات الاتجاهية تكون مسئولة عن تحديد اتجاه مرور القدرة او التيار .

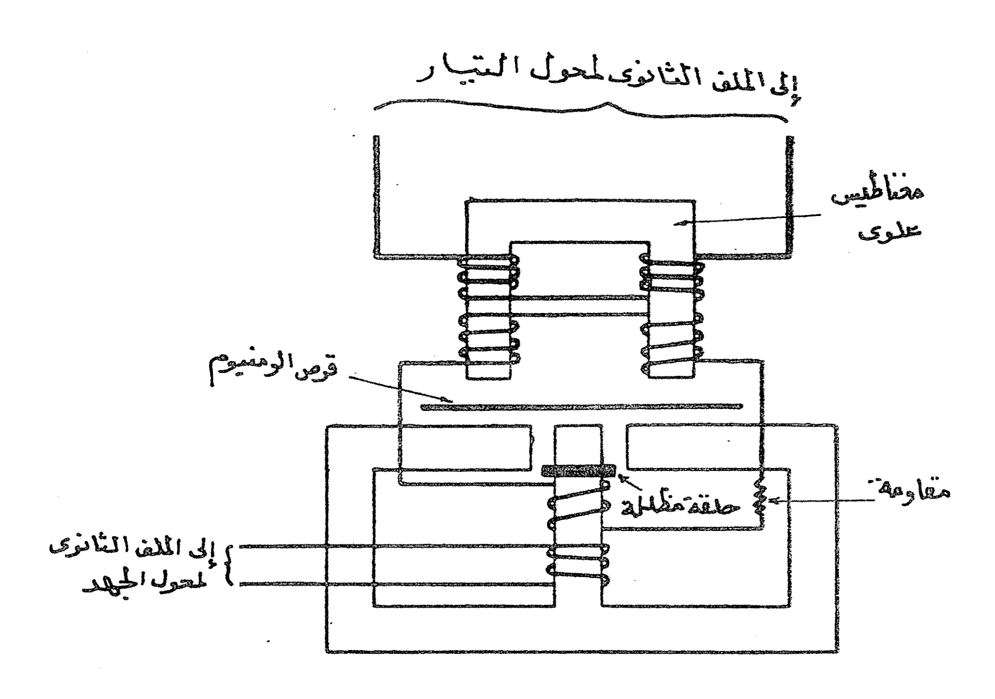
ومن انواع المتممات الاتجاهية هذه الانواع :

- متممات القدرة الاتجاهية *Directional power relays*
- متممات زيادة التيار الاتجاهى *Directional overcurrent relays*
- متممات التسرب الارضى الاتجاهى *Directional earth leakage relays*

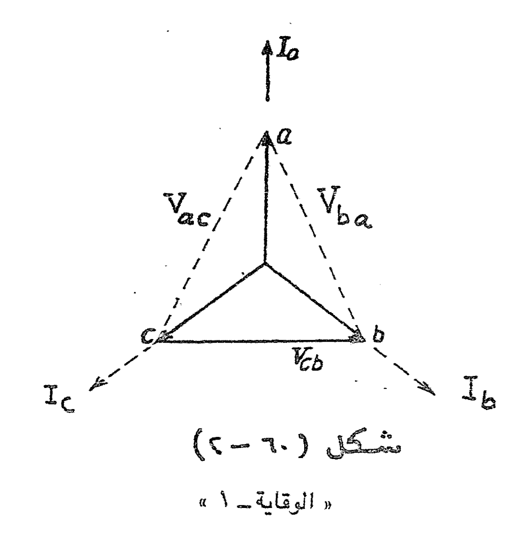
وتتكون جميع المتممات الاتجاهية اساساً من ملفين احدها ملف التيار *(Current coil)* والاخر ملف الجهد *(Voltage coil)*، او من ملفين تيار .

ويوضح شكل (٥٩-٢) متمم اتجاهى من النوع ذى القرص ، يحتوى على ملف تيار يغذى من الملف الثانوى لمحول التيار ، وملف جهد يغذى من الملف الثانوى لمحول الجهد (يجب مراعاة القطبية عند توصيل اطراف الملفات) ، ويتم تحديد التيار والجهد المغذيان للملفين تبعاً لنوع المتمم وعلى قيمة الزاوية بين التيار والجهد ، التى نحصل منها على أقصى عزم تشغيل . فمثلاً شكل (٦٠-٢) يوضح رسم متجهات للاوجه *a,b,c*، اللازم لمتمم اتجاهى °٩٠ (الزاوية بين *V* ، *I* تكون °٩٠) .

الوجـــــه	ملـــف التيـــــار	ملـــف الجهـــد
a	I_a	V_{bc}
b	I_b	V_{ca}
c	I_c	V_{ab}



شكل (٥٩-٢)



شكل (٦٠-٢)

ويمكن الحصول على ذلك لمتمم مركب على الوجه a بتوصيل تيار الوجه a (اى I_a) لملف التيار بينما يتم توصيل الجهد V_{bc} لملف الجهد وبذلك نحصل على زاوية ٩٠° بين اتجاه التيار واتجاه الجهد .. وهكذا لباقى الاوجه ، كما فى الجدول السابق.يوضح شكل (٦١-٢) طريقة توصيل متمم اتجاهى يركب للوجه a ، حيث تم توصيل ملف التيار (1-2) على الملف الثانوى لمحول التيار المركب على الوجه a، وتوصيل ملف الجهد (3-4)على الملف الثانوى لمحول الجهد المركب بين الوجهين b,c

تعرف معادلة القدرة الفعاله *Active power* كالآتى :

$$P = VI \cos \beta$$

حيث β الزاوية بين الجهد V والتيار I

بينما معادلة القدره غير الفعاله *Reactive power* كالآتى :

$$P = VI \sin \beta$$

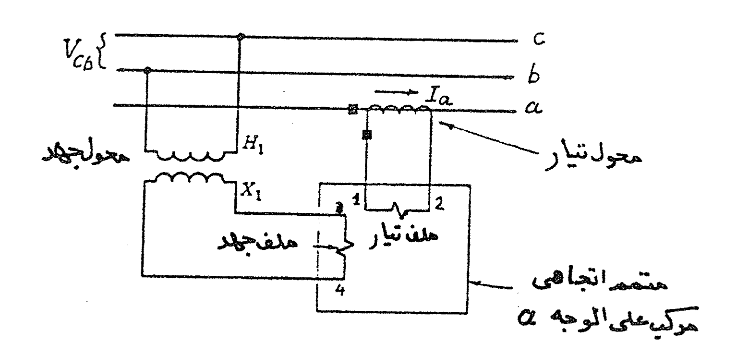
يكون جيب تمام الزاوية β موجباً اى تكون القدره موجبه اذا كانت حدود الزاوية β بين اقل من ٩٠° واكبر من ٢٧٠°

بينما يكون جيب تمام الزاويه سالباً اى تكون القدره سالبه اذا كانت حدود الزاوية β بين اكبر من ٩٠° واقل من ٢٧٠°

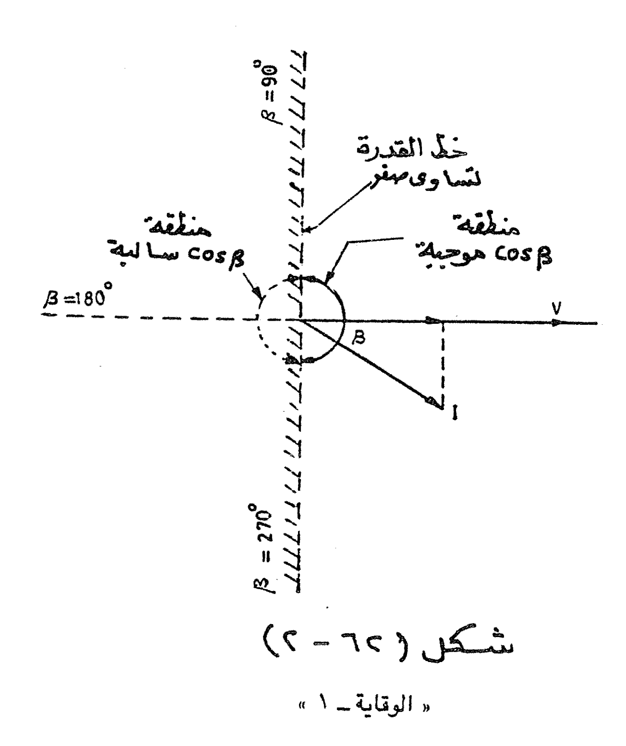
وعندما β تساوى ٩٠° او ١٨٠° تكون القدره مساوية للصفر .

وهذا موضح فى شكل (٦٢-٢) وعلى ذلك فان حساسية متمم القدره الاتجاهى تعتمد على قيمة واشارة الكمية $VI \cos\beta$ ويعمل المتمم للكميات الموجبة فقط .

بالرجوع الى شكل (٥٩-٢) والذى يوضح مكونات المتمم الاتجاهى ذو القرص ، حيث يتكون من قرص مثبت على محور دورانه الرأسى نقط التلامس ، ومغناطيس علوى ملفوف عليه ملف التيار ومغناطيس سفلى ملفوف عليه ملف الجهد ، ويوجد القرص بين المغناطيسين ، يسبب مرور التيار فى الاتجاه العادى *(Normal direction)* بملف التيار مجالاً مغناطيسياً بالمغناطيس العلوى ، وهذا المجال يخلق بالتأثير تيارات اعصارية بالقرص ، هذه التيارات تتداخل مع خطوط القوى للمجال الثانى الناتج عن وجود المغناطيس الآخر وملف الجهد ، بحيث يحدث عزم دوران فى اتجاه الكبح



شكل (٦١ - ٢)



شكل (٦٢ - ٢)

(Restraint) ، اى عكس اتجاه دوران القرص مما يؤدى الى عدم قفل نقط التلامس ، بينما عند انعكاس اتجاه التيار فان اتجاه العزم ينعكس محدثاً دوراناً للقرص فى اتجاه قفل نقط التلامس . ونحصل على اقصى عزم دوران عندما يكون التيار والجهد فى نفس الاتجاه . وقد ذكرنا سابقاً انه يمكن التحكم فى قيمة الزاوية بين الجهد والتيار بالمتمم بحيث تعطى اقصى عزم دوران ومن هذه الامثلة وضع حلقة مظلله (Shading ring) على المغناطيس السفلى .

ولاستنتاج معادلة عزم الدوران ، يوضح شكل (٦٣-٢) رسم المتجهات لقيم التيارات والجهد بالمتمم الاتجاهى ذى القرص حيث :

V_r= الجهد المسلط على ملف الجهد اى جهد الملف الثانوى لمحول الجهد .

I_v = التيار المار بملف الجهد نتيجة الجهد V_r ويساوى V_r / Z_v .

Z_v = معاوقة ملف الجهد .

Φ_c = الفيض الناتج من التيار I_r

Φ_v= الفيض الناتج من التيار I_v

I_r= التيار المار بملف التيار اى تيار الملف الثانوى لمحول التيار .

ومن اساسيات نظرية المتممات التأثيرية ، ان القوة الناتجة من الفيضين Φ_c ، Φ_v هى

$$F \propto \Phi_c \, \Phi_v \sin \psi$$

حيث ψ = الزاوية بين Φ_v , Φ_c

= الزاوية بين I_r , I_v

= الفرق بين الزاويتين β , α

$$\therefore \; F \propto I_r \; I_v \; \sin (\alpha - \beta)$$

حيث α = الزاوية بين V_r , I_v

ψ = الزاويه بين I_r , V_r

وعلى ذلك فان معادلة عزم الدوران للمتمم هى :

$$T \propto V_r I_r \sin (\alpha - \beta)$$

اى ان العزم يتناسب مع كل من :

V_r = الجهد المسلط على ملف الجهد

I_r = التيار المار بملف التيار

$\sin (\alpha - \beta)$ = جيب الزاوية $(\alpha - \beta)$

وتعتمد اشارة العزم (سالبة او موجبه) على اشارة جيب الزاوية $(\alpha - \beta)$ كالآتى :

- يكون جيب الزاوية $(\alpha - \beta)$ ، اى جيب الزاوية ψ ، موجباً اذا كانت الزاوية ψ تقع بين صفر ، ١٨٠° ويكون سالباً عندما تقع بين ١٨٠° و ٣٦٠° .

- يحدث اقصى عزم عندما تكون الزاوية ψ تساوى ٩٠° .

اى ان I_r يتقدم I_v بزاوية ٩٠° ويقال ان اقصى زاوية عزم تساوى ٩٠° .

- اذا كان العزم سالب فان القرص يدور فى عكس الاتجاه اى المتمم لايعمل .

- اذا كان I_r او V_r مساوياً للصفر فان المتمم لايعمل .

وتعتبر الزاوية α زاوية داخلية للمتمم ، وهى الزاوية بين I_v, V_r وهى هامة لامكان تغيير خصائص المتمم اذا امكن التحكم فيها ، فمثلاً :

- اذا كانت α تساوى صفر فان المتمم فى هذه الحالة يعتبر ذو حساسية للقدره غير الفعالة *(Reactive)* وتصبح معادلة العزم :

$$T \propto V_r I_r \sin \beta$$

ونحصل على اقصى عزم عندما β تساوى ٩٠°

- اذا كانت α تساوى ٩٠° تصبح معادلة العزم :

$$T \propto V_r I_r \sin (90 - \beta)$$

$$\propto V_r I_r \cos \beta$$

ويكون العزم متناسب مع القدره الفعاله *(Active)* .

– اذا كانت α محصورة بين القيمتين صفر و ٩٠° فان المتمم يعتبر ذو حساسية للقدره المركبة *(Combined power relay)*.

تمكن الباحثون من تعديل المتمم ذو الصحن التأثيرى *(Induction cup relay)* بحيث يصبح متمم اتجاهى وذلك بتوصيل ملف التيار بالملف الثانوى لمحول التيار وتوصيل ملف الجهد بالملف الثانوى لمحول الجهد .

كما توجد متممات اتجاهية تحتوى على ملفين تيار ، يغذى كل ملف من ملف ثانوى لمحول تيار ، اى من مصدرين مختلفين وتعرف هذه المتممات بمتممات تيار – تيار *(Current current relays)* وتكون معادلة العزم .

$$T \propto I_1 I_2 \sin \psi$$

حيث ψ الزاوية بين المجالين المغناطيسيين الناتجين من I_1 , I_2

I_1 , I_2 التياران الماران بملفى التيار .

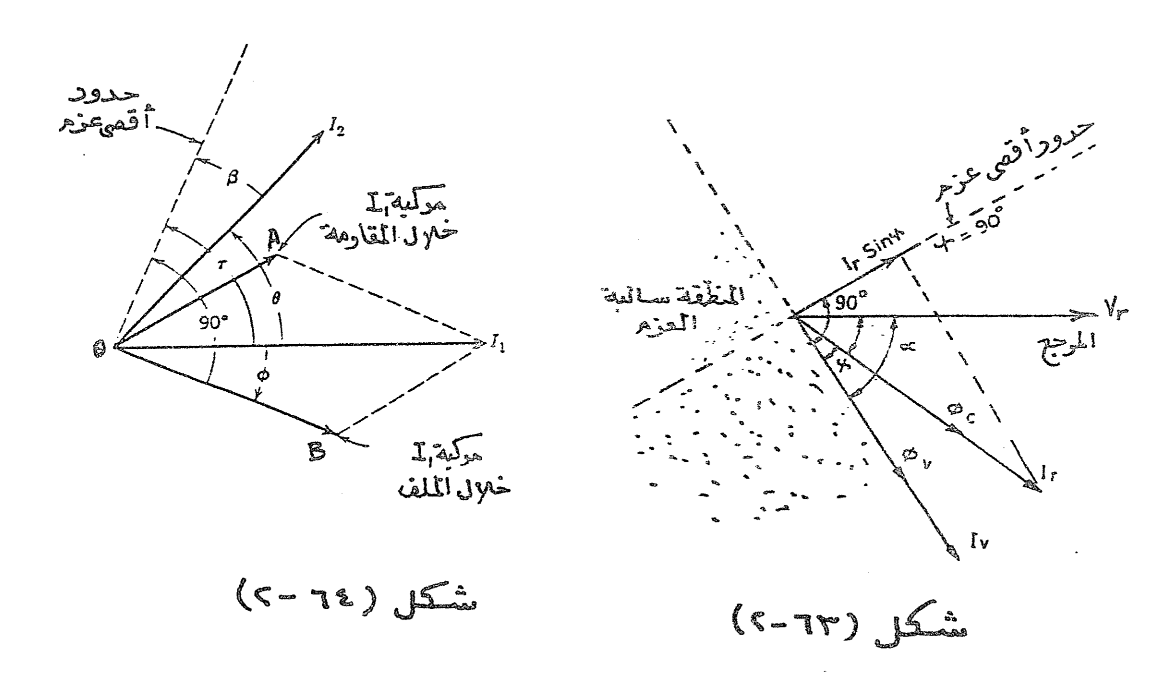
ويوضح شكل (٦٤–٢) رسم المتجهات فى حالة متمم اتجاهى تأثيرى باستخدام تيارين *(Current - current induction type directional relay)* .

يحدث اقصى عزم عند وصول الزاوية θ (الزاوية بين التيارين I_1 , I_2) الى قيمة ٩٠° واحدى طرق الوصول الى ذلك بتوصيل مقاومة او مكثف على التوازى مع احد ملفى التيار للمتمم وبالتالى يتوزع التيار ، كما فى الشكل ، الى المركبة OA للتيار المار بالمقاومة والمركبة OB للتيار المار بملف التيار للمتمم . وتصبح معادلة العزم :

$$T \propto I_1 I_2 \sin (\Theta - \beta)$$

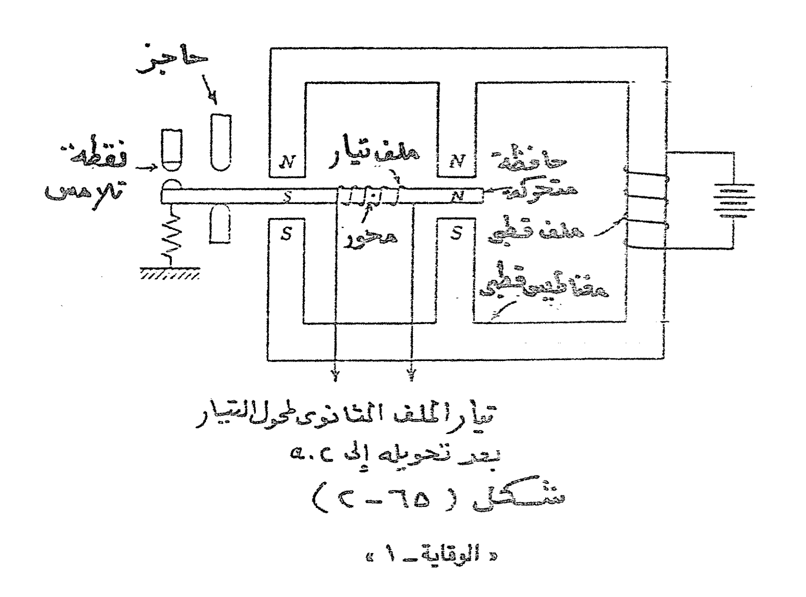
تسمى الزاوية بين I_1 وأقصى موضع يمكن ان يصل اليه I_2 بزاوية اقصى عزم *(Angle of maximum torque)* وهى اقصى زاوية يمكن ان تصل اليها الزاوية θ (الزاوية τ بالشكل(٦٤–٢)) .

توجد انواع اخرى للمتممات الاتجاهية الكهرومغناطيسية ومثال ذلك المتممات ذات حافظة الجذب *(Attraction type)* الموضحة بشكل (٦٥–٢) ، فعند مرور تيار بملف التيار (الذى يحيط بالمحافظة) فى الاتجاه العادى يحدث تمغنط للحافظة فى اتجاه منع



شكل (٦٤-٢)

شكل (٦٣-٢)



تيار الملف الثانوى لمحول التيار
بعد تحويله إلى a.c
شكل (٦٥-٢)

قفل نقط التلامس ، بينما عند انعكاس اتجاه التيار تجذب الحافظة فى اتجاه قفل نقط التلامس .

وتكون معادلة القوة للحافظة .

$$F = K_1 I_p I_a - K_2$$

حيث :

K_1 = ثابت التناسب

K_2 = قوة الكبح *(Restraining force)* والناتجة من الاحتكاك .

I_p = التيار المار بالملف المستقطب *(Polarizing coil)*

I_a = التيار المار بملف الحافظة *(Armature coil)*.

عند موضع الاتزان ($F = 0$) يكون وضع بداية التشغيل للمتمم اى ان :

ثابت = $I_p I_a = K_2 / K_1$

واذا فرضنا ان I_p , I_a فى نفس الاتجاه ففى حالة انعكاس اى من I_a او I_p (وليس الاثنان معاً) فان اتجاه القوة سوف ينعكس .

٩ - متممات ذات قضيب حديدى مستقطب متحرك *Polarized moving iron relays*

يشبة هذا المتمم فى تركيبه المتممات ذات القضيب الحديدى المتحرك *Moving iron relay* ولكن بإضافة مغناطيس مستقطب دائم *(Polarizing)* يعمل على إضافة فيض مغناطيسى للفيض الاساسى والذى يساعد على تحسين حساسية وسرعة المتمم ويوضح شكل (٦٦-٢) المكونات الاساسية لهذا النوع .

١٠- متممات التردد *Frequency relays*

يظل تردد القوة الدافعه الكهربائية *(emf)*، الناتجة من المولدات التزامنية *(Synchronous generator)*، ثابتاً طالما ان السرعة ثابته . وحيث ان السرعة تتناسب عكسياً مع الحمل *(Load)*، لذلك كلما زاد الحمل انخفضت السرعة وبالتالى فان التردد يتغير عن القيمة العادية . ولذلك تستخدم متممات التردد كوقاية للشبكة الكهربائية اى للمولدات ضد انخفاض او ارتفاع التردد ، حيث يغذى ملف المتمم من الملف الثانوى

لمحول الجهد وتضبط على قيمة معينة وبذلك يراقب المتمم التردد بصفة مستمرة لكشف اى تغيير فى التردد واعطاء امر لفصل قواطع التيار حسب النظام المستخدم .

تستخدم متممات التردد الكهرومغناطيسية وحدة متمم تأثيرى نو صحن متحرك *(Cup rotor)* كما فى شكل (٦٧-٢) حيث يتم توصيل زوجين من الملفات على التوازى وتغذى من الملف الثانوى لمحول الجهد من خلال معاوقة والتى تتغير مع تغيير تردد المصدر *(Impedance tunned to frequency)* ، وتضبط المقاومة بحيث لاتعطي عزم عند التردد العادى . ويكون العزم الناتج على الصحن المتحرك *(cup rotor)* اما فى اتجاه عقرب الساعة او عكسها معتمداً على زيادة التردد او نقصه عن التردد المقنن للشبكة الكهربائية. وبذلك يمكن التحكم فى ضبط قيمة التردد على المتمم عن طريق تغيير المقاومة المتغيره .

يمكن ضبط قيمة تشغيل المتمم *(Pick-up)* عن طريق ياى الكبح *(Restraining spring)* .

مثال للمواصفات الفنية لمتمم التردد :

- الجهـــد المقنـــن : ١٠٠ / ١١٠ ڤولت ± ٢٠ ٪
- حدود تغيير التردد : ٤٦ - ٥٤هرتز
- درجـــة الدقـــة : ± ٠,٤ ٪
- حدود ضبط الزمن : ٠,١ - ٠,٣ ثانية .
  ٠,١ - ٠,٥ ثانية
  ٠,٢٥ - ١ ثانية
  ١ - ٥ ثانية
- القـــــــدرة : ١٢ ڤولت امبير
- التـــردد المقـــنن : ٥٠ هرتز

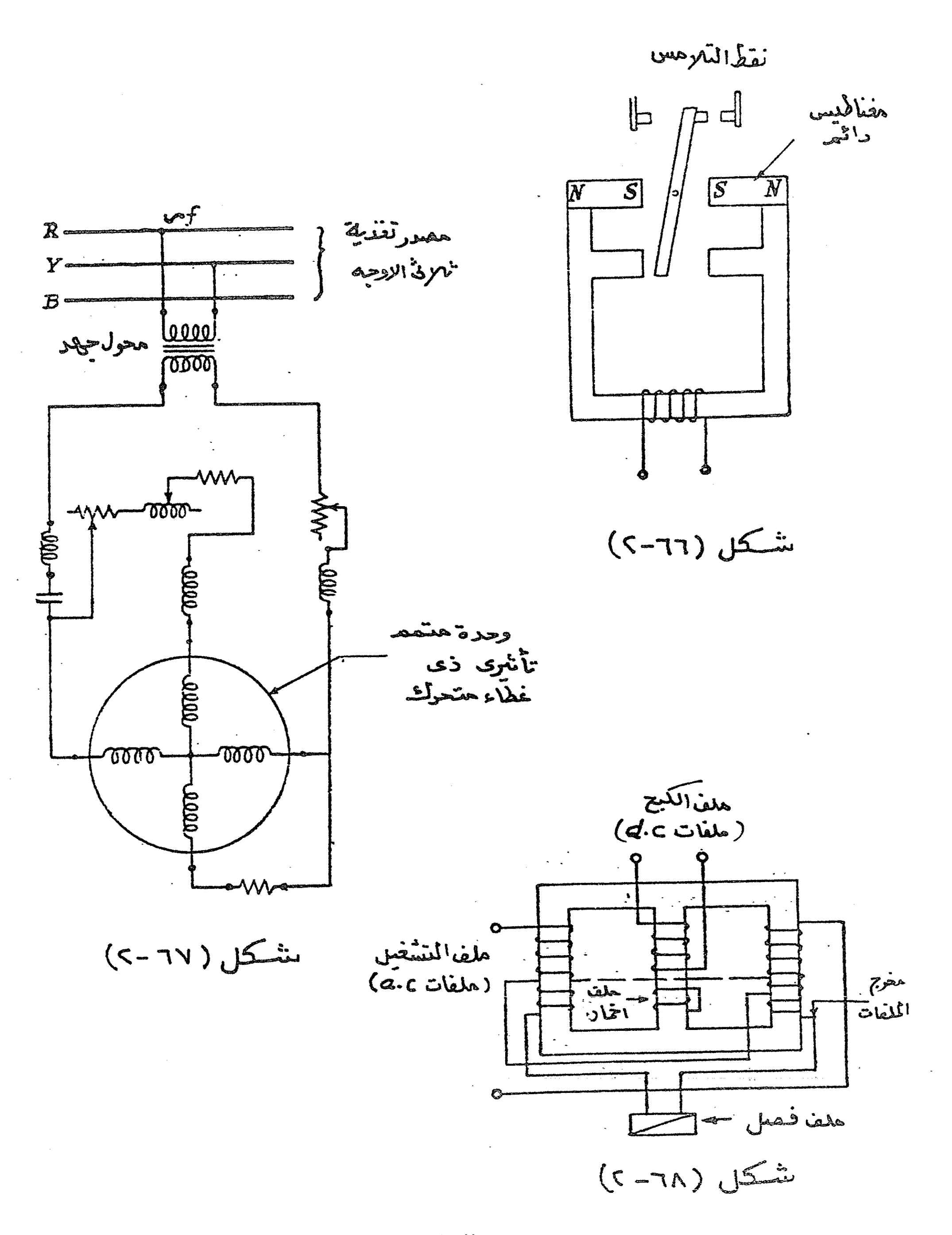
ويلاحظ ان حدود تغيير التردد من ٤٦ الى ٥٤ هرتز وبالتالى يمكن ان يكون المتمم ضد انخفاض التردد او زيادته .

١١ - المتممات ذات المكبرات المغناطيسية

Magnetic amplifier relays or transductor

يتكون ، كما فى شكل (٦٨-٢) ، من محول وملف تيار مستمر(*d.c*)هذا الملف ملفوف على القلب المغناطيسى ولكنه غير مرتبط مغناطيسياً مع ملفات (*a.c*) للمحول . ويطلق ايضاً على هذا النوع اسم Transductor لانه يتم التحكم فى عمل المحول عن طريق ملف(*d.c*).

تزيد قيمة معاوقة ملف التيار المتردد (*a.c*) مع تشبع القلب ولذلك استخدم التيار المستمر(*d.c*)للتحكم فى مستوى تشبع القلب (*Saturation level*) وبالتالى يتم التحكم فى قيمة تيار المخرج (*a.c*) وايضاً تكبيره بواسطة تغيير قيمة التيار المستمر (*d.c*) ويتمَ توصيل تيار المخرج على متمم فصل (*Trip relay*) بحيث يعمل المتمم عندما يزيد التيار عن قيمة معينة .



شكل (٦٦-٢)

شكل (٦٧-٢)

شكل (٦٨-٢)

الباب الثالث

٣-١ متممات الوقاية الاستاتيكية *Static protective relays*

١- مقدمة :

اثناء التفكير فى استخدام نظم الوقاية عن طريق مقارنة التيار المار بخط نقل *(Transmission line)* ، بين محطتى كهرباء ، وهو مايعرف بنظم الوقاية للتيارات المحملة *(Carrier current protection system)* وذلك لوقاية خطوط النقل ، جاء التفكير فى استخدام المكونات الالكترونية *(electronics)* فى أجهزة الوقاية ، وكان ذلك فى حوالى ١٩٢٨ وقد تم استخدام الصمامات المفرغة *(Vacuum tubes)* ، وصمامات الغاز *(Gas tubes)* (مثل : صمام ثرمونى *Therminoic type*، ثايراترون (صمام ثلاثى غازى) *Thyratron*) ولكنها لم تنتشر تجارياً بسبب قصر عمر تشغيل الصمامات ، واحتياجها لمصدر تسخين وعدم الثقة فى كفاءتها .

فى حوالى ١٩٤١تم اكتشاف الترانزستور *(Transistors)* وأحدث ثورة فى علم الالكترونيات وبدأ تصنيع الاجهزة الاستاتيكية وكانت تتكون من : ديود *(Diode)* ترانزستور *(transistor)* ، ثيريزتور *(Thyristor)* وكان ذلك فيما بين ١٩٥٠ م الى ١٩٦٠ م .

ثم حدث اول تطوير فى الاجهزة الاستاتيكية وذلك عن طريق تثبيت مكونات الجهاز على لوحة معينة تعرف بالدوائر المطبوعة *(Printed circuit boards)* ويرمز لها *(PCB)*. وفى خلال الفترة من ١٩٥٨ الى ١٩٧٤ م حدث توسع وانتشار كبير جداً فى صناعة الاجهزة الاستاتيكية وحدث ثانى تطوير عن طريق اكتشاف واستخدام الدوائر المتكاملة *(Integrated circuit)* ويرمز لها *(IC)* .

وتعرف ببساطة الاجهزة الاستاتيكية او الساكنة بأنها الاجهزة التى تقيس او تقارن كميات كهربائية عن طريق دائرة غير متحركة *(Stationary network)* وتعطى أشارة

فصل لقاطع التيار عند تحقيق شرط تشغيلها (وهو مايعرف بحالة البداية ويعبر عنه بأحدى هذه التعبيرات *Threshold condition* او *On the border of* او *On the verge of*

كذلك يمكن تعريف الاجهزة الاستاتيكية بأنها الاجهزة التى لاتحتوى على اى أجزاء متحركة ، مثل نقط التلامس *moving contact* ، حافظة مغناطيسية .. وماشابه ذلك فى الاجهزة الكهرومغناطيسية التقليدية ، بمعنى آخر لايحتوى عنصر القياس او المقارنة على جزء متحرك . ويمكن ان يحتوى عنصر المخرج فقط على نقط تلامس مساعدة وهو مايعرف بالنبيطة الموالية *(Slave device)* ، لاعطاء اشارة فصل قاطع التيار . ويمكن ان تكون نقط التلامس المساعدة من النوع الكهرومغناطيسى ، وفى الامكان الغاءها وتوصيل ملف الفصل لقاطع التيار مباشرة مع نبيطة المخرج *(output device)*.

يوضح شكل (١-٣) المكونات الاساسية متمم استاتيكى . حيث توصل الدوائر الثانوية لمحول التيار اوالجهد على عنصر مدخل ثم على قنطرة توحيد*(rectifier)* ثم يتم تغذية عنصر القياس *(measuring unit)* من مخرج القنطرة ، ويتكون عنصر القياس من مقارن *(Comparator)* ، وكاشف مستوى *(Level detector)* ومرشح *(Filter)* ودوائر منطقية *(Logic circuit)* ، كما يمكن الحصول على اشارة من مخرج عنصر القياس اذا تحقق شرط البداية *(Threshold condition)* ، ويتم تكبير هذه الاشارة عن طريق مكبر *(amplifier)* ، والتى تغذى عنصر المخرج *(Output unit)* ومنه نحصل على اشارة لفصل قاطع التيار .

تتم عملية القياس فى المتممات الكهرومغناطيسية التقليدية *(Conventional electromagnetic relay)* عن طريق مقارنة قوة او عزم التشغيل *(Operating torque / force)* مع قوة أو عزم الكبح *(Restraining torque / force)* ويعمل المتمم فى حالة تغلب قوة او عزم التشغيل ، ويعبر عن اشتغال المتمم عن طريق حركة عنصر الحركة *(Moving element)* ، بينما تحتوى الاجهزة الاستاتيكية على دوائر ساكنة او استاتيكية تقوم بعمليات القياس .

تصنيف المتممات الاستاتيكية :

تصنف المتممات الاستاتيكية تبعاً لنوع عنصر القياس (المقارن) المستخدم كمايلى :

أ - متممات الكترونية *Electronic relays*

ب - متممات ذات مكبرات مغناطيسية *Magnetic amplifier relays (transductor)*

جـ - متممات قنطرة توحيد *Rectifier bridge relays*

ء - متممات تعمل بظاهرة "جاوس" *Gauss effect relays*

هـ - متممات تعمل بظاهرة "هول" *Hall effect relays*

و - متممات ذات مكونات ترانزستور *Transisitor relays*

تعتبر المتممات ذات مكونات ترانزستور هى اكثر شيوعاً والتى تعرف تجاوزاً بأنها متممات استاتيكية وقد تم تطويرها حالياً باستخدام دوائر متكاملة وسيتم شرحها فيما بعد بتوسع اما فى هذا الباب سنأخذ فكرة عن كل نوع من المتممات الاستاتيكية .

أ - المتممات الاكترونية *Electronic relays*

كان هذا النوع هو اول استخدام فى سلسلة المتممات الاستاتيكية ، وكما ذكرنا سابقاً بدأ استخدامها حوالى عام ١٩٢٨ عند استخدام اجهزة الوقاية للتيارات المحملة لخطوط نقل القوى الكهربائية حيث كان عنصر القياس عبارة عن صمامات او انابيب الكترونية *(Electronic valves or tubes)* .

يوجد نوعان من المقارن : مقارن القيمة *(Amplitude comparalor)*، ومقارن الزاوية *(Phase comparator)* كما فى شكل (٢-٣) أ ، ب .

ففى مقارن القيمة ، تقارن كميتان مترددتان *(a.c)* ، من حيث القيمة فقط ، ويكونا فى اتجاهين متضادين وتسلط على شبكة تحكم *(Control grid)* الصمام ، وبذلك يشتغل الصمام اذا تعدت احدى القيمتين الاخرى بقيمة تعتمد على قيمة الحياز *(bias)*.

بينما فى مقارن الزاوية ، يتم توصيل احد الكميتين على شبكة التحكم بينما القيمة الاخرى على شبكة الحاجب *(Screen grid)* للصمام ، ويشتغل الصمام اذا كانت

الكميتين فى اتفاق وجهى (*in phase*) .

من مميزات المتممات الاكترونية :

- قيمة العبء (*burden*) المأخوذة من محولات التيار والجهد صغيره اذا تم تغذية دوائر التشغيل من دوائر التيار المستمر المساعدة (*d.c*) .

- غياب القصور الذاتى الميكانيكى (*mechanical inertia*) وعمليات ارتداد نقط التلامس (*bouncing contacts*).

- التشغيل السريع

- صيانة بسيطة جداً لعدم وجود أجزاء متحركة .

على الرغم من ذلك لم تحقق المتممات الالكترونية اى نجاح او انتشار فيما عدا استخدامها فى أجهزة الوقاية للتيار المحمل لوقاية خطوط القوى الكهربائية ، والتى تم استخدامها بتوسع .

من عيوب المتممات الالكترونية :

- قصر عمر الصمامات .

- استهلاك قدرة مرتفع .

- الاحتياج الى مصدر جهد عالى .

- وجود فتيلة توهج حرارى والاحتياج لمصدر كهربى صغير لتسخينها .

- ارتفاع تكاليف متمم وقاية بسيط مثل وقاية ضد زيادة التيار .

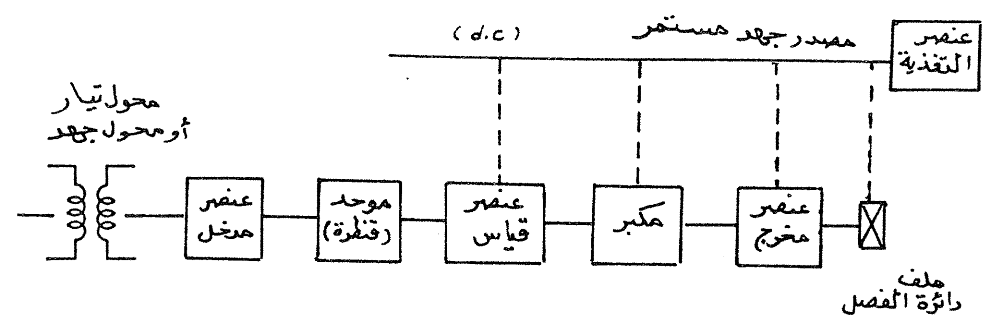
ب - المتممات ذات المكبرات المغناطيسية

Magnetic amplifier relay (Transductor)

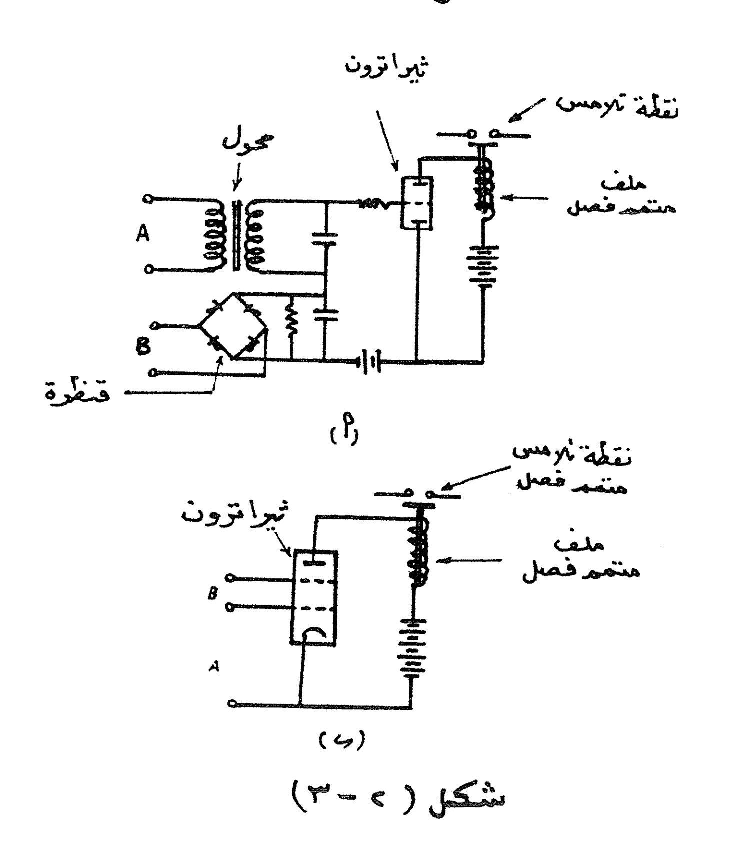
يتكون المتمم من قلب مغناطيسى ملفوف عليه مجموعة من الملفات عبارة عن :

A: ملف تشغيل ، *B*: ملف ربط ، *C*: ملف تحكم ، *D*: ملف مخرج،كما فى شكل (٣-٣) مع ملاحظة ان ملفى التشغيل والمخرج *A,D* ينقسم كل منهما الى جزئين . وجميع الملفات مرتبطة مغناطيسياً عن طريق القلب .

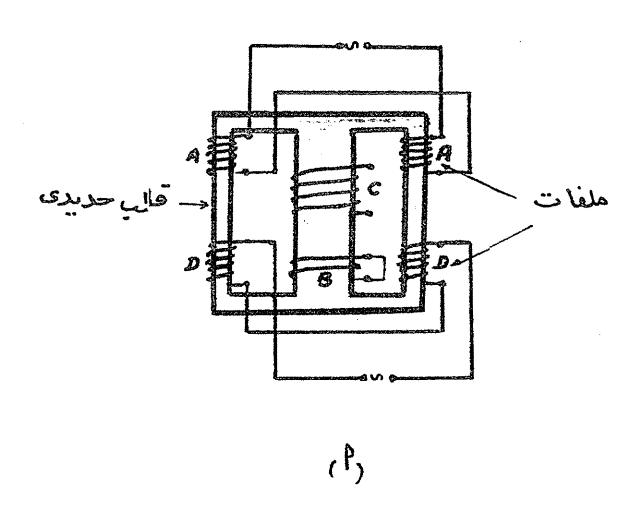
يغذى ملف التشغيل بواسطة تيار متردد (*a.c*) بينما يغذى ملف التحكم بتيار


عنصر التغذية
مصدر جهد مستمر
(d.c)
محول تيار
أو محول جهد
عنصر مدخل
موحد (قنطرة)
عنصر قياس
مكبر
عنصر مخرج
ملف دائرة الفصل

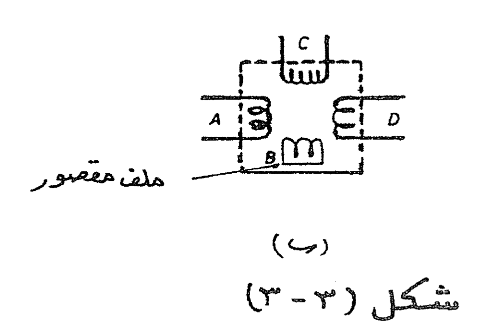
شكل (١ - ٣)


ثيراترون
نقطة تلامس
محول
ملف
متمم فصل
A
B
قنطرة
(أ)
نقطة تلامس
متمم فصل
ثيراترون
ملف
متمم فصل
B
A
(ب)

شكل (٢ - ٣)



(أ)



(ب)

شكل (٣ - ٣)

مستمر *(d.c)* ويوضح شكل (٤-٣) دائرة كاملة للمتمم ، حيث يسلط جهد كبح *V(restraining voltage)* على ملف التحكم من خلال موحد ومعاوقة Z_R . وهذا يعنى ان تيار الكبح يكون موحداً ويمكن اعتباره ناعماً *(smooth)* جزئياً نتيجة دائرة قصر الموحد على ملف التحكم بالاضافة الى دائرة القصر لملف الربط ، لذلك يصبح ساقى القلب *(Limb)* ، الملفوف عليهما ملف التشغيل ، فى حالة التشبع *(Saturation)* .

ويلف ملف التشغيل بنفس الطريقة التى تجعل الامبير ـ لفات للتشغيل تضاد الامبير ـ لفات للكبح على نفس الساق *(Limb)* ، وتساعده على الساق الاخرى ، لو فرضنا تساوى لفات التشغيل والكبح ، فان تيار التشغيل يساعد على تخليص الساق ، الذى به تيار التشغيل يضاد امبير ـ لفات الكبح ، من حالة التشبع وذلك عندما يكون اقصى قيمة لتيار التشغيل اكبر من قيمة تيار الكبح . اذا حدث هذا فسينتج جهد تأثيرى على ملف المخرج يؤدى الى اشتغال ملف المتمم يتكرر هذا على الساق الاخرى خلال نصف الدورة التالى .

يعتبر هذا النوع من ابسط انوا ع المتممات الكهرومغناطيسية ، ولايحتاج لاى عمليات صيانة ، كما أن اختباره غايه فى البساطة .

جـ- متممات قنطرة التوحيد *Rectifier bridge relays*

بعد انتشار مكونات المواد شبة الموصلة ممثلة فى الديودات *(diodes)* تم تصنيع هذه المتممات وهى عباره عن قنطرتيى توحيد . ويتم توصيل ملف متحرك *(moving coil)* او متمم ذو جزء حديدى مستقطب متحرك *(polarized moving iron relay)* بينهما . ويمكن استخدام هذا النوع كمقارن للقيمة او مقارن لزاوية الوجه .

ء - متممات تعمل بظاهرة "جاوس" *"Gauss" effect relays*

بعض المواد شبة الموصلة تتغير خاصية مقاومتها بتغير المجال المغناطيسى المسلط عليها ، وتعرف بظاهرة المقاومة النوعية المغناطيسية *(magneto resistivity)* او ظاهرة جاوس *(Gauss effect)* .

فى حالة استخدام جهد متردد V_1 لأحداث مجال مغناطيسى على مادة بللورية *(Crystal)*، (والتى يجب ان تكون على شكل قرص ذى قطر كبير للحصول على نتائج افضل) ، واستخدام جهد آخر V_2 لتمرير تيار اشعاعى خلال القرص،فان التيار سوف

يتناسب مع القيمة $(V_1 V_2 \cos \theta)$ حيث θ الزاوية بين V_1, V_2، وهذا يمثل مقارن زاوية (phase comparator) وبالتالى يمكن استخدامه لمتمم استاتيكى ولكن بسبب ارتفاع سعر المادة البللورية انحصر انتشار هذا النوع .

هـ- متممات تعمل بظاهرة "هول" "Hall" effect relays

يستخدم هذا المتمم كمقارن زاوية (phase comparator). تظهر هذه الظاهرة على بعض انواع معينة من المواد شبه الموصله مثل : فوسفات الانديوم (indium phosphate) وانتيمونات الانديوم (indium antimonide) ، وزرننجات الانديوم (indium arsenide) حيث يوضح شكل (٥-٣) فكرة هذا المتمم . استخدمت مادة بللورية (crystal) على شكل شريحة يمر بها تيار فى اتجاه X وموضوعه فى مجال مغناطيسي فى الاتجاه Y ويعرف الجهد جهد V_H بجهد "هول" (Hall voltage) ويحدث فى الاتجاه Z ، حيث يقطع اطراف المادة البللورية

وتكون معادلتى الفيض والتيار كالآتى :

$$\Phi = \Phi_m \sin \omega t$$

$$i = I_m \sin (\omega t - \alpha)$$

وتكون معادلة V_H كالآتى :

$$V_H \propto \Phi i$$

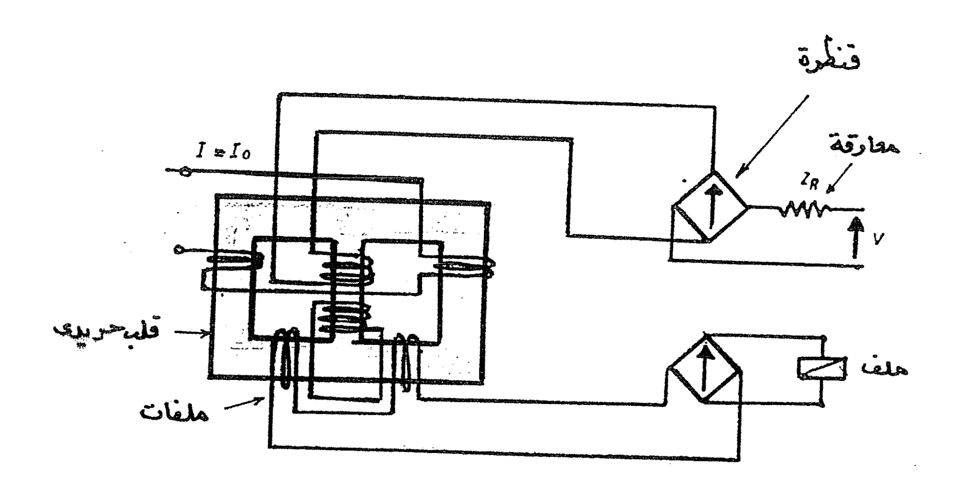
$$\propto (\Phi_m \sin \omega t)(I_m \sin (\omega t - \alpha))$$

$$\propto \Phi_m I_m [\cos \alpha - \cos (2\omega t - \alpha)]$$

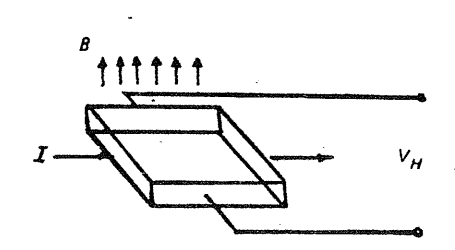
من المعادلة السابقة نلاحظ انها تنقسم الى جزئين :

احدهما $\Phi_m I_m \cos \alpha$ ويعتبر مركبة جهد مستمر (d.c)

والآخر $\Phi_m I_m \cos (2\omega t - \alpha)$ ويعتبر مركبة جهد متردد (a.c) عند ضعف قيمة التردد (Frequency) ، وللتخلص من المركبة المحتوية على ضعف التردد تستخدم مادتين بللوريتين (A,B) كما فى شكل (٦-٣) ويكون تيار المدخل لكل منهما I_1, I_2 عبارة عن موجه جيبية (a.c) معادلة كل منهما كالآتى :



شكل (٤ - ٣)



شكل (٥ - ٣)

$$I_1 = I_{m1} \sin \omega t \qquad (1)$$

$$I_2 = I_{m2} \sin (\omega t + \alpha) \qquad (2)$$

حيث يكون الفيض خلال A,B كالآتى :

$$\Phi_A \propto I_1$$

$$\Phi_B \propto I_2$$

ويكون التيار المار خلال A,B كالآتى :

$$I_A \propto dI_2 / dt$$

$$I_B \propto dI_1 / dt$$

توصل المادتان البللوريتان بحيث يكون جهد المخرج لاحدهما مضاد للآخر وتكون النتيجة

$$V_H \propto V_A - V_B$$

$$\therefore V_H \propto I_1 \frac{dI_2}{dt} - I_2 \frac{dI_1}{dt} \qquad (3)$$

بالتعويض فى المعادلة *(3)* باستخدام المعادلتين *(1)*، *(2)* فأن :

$$\therefore V_H \propto I_{m1} I_{m2} \sin \alpha$$

وهذه حالة مقارن زاوية .

وهذا النوع لا يحتاج الى مصدر جهد مساعد *(d.c)* لتشغيله ولكن يحتاج لقدرة استهلاك كبيرة نسبياً ويعتبر تركيبه بسيط جداً ، ورغم ذلك لم يستخدم فى الحياة العملية الا فى بعض انواع المتممات الروسية ، نظرا لارتفاع سعر المواد البللورية والاخطاء الناتجة من ارتفاع درجة الحرارة وانخفاض قدرة المخرج .

و - متممات ذات مكونات ترانزستور *Transistor relays*

استخدمت هذه المتممات فى البداية للحصول على دوال اساسية مثل عمليات الجمع ،

والطرح ، والمقارنة ، والتكامل ثم تطورت واستخدمت للحصول على اى دالة مرغوبة .

ويوجد استخدامان اساسيان كما فى شكلى (٧-٣) أ ، ب تتلخص الفكرة فى أنه يجب ان يكون الترانزستور فى حالة توصيل (*ON*) حتى يمكن مرور تيار ثابت القيمة بدائرة المجمع (*Collector*) ، اى يمر تيار بملف المتمم (*R*) يعمل على تشغيله ، نحصل على هذا اذا حدث تطابق زاوية (*phase coincidence*) لموجتى مدخل الدائرة .

يجب التأكيد على اننا فى الحديث عن المتممات الاستاتيكية نقصد بها فقط المتممات ذات المكونات ترانزستور او الدوائر المتكاملة وهو الاسم الشائع لهذا النوع .

٢ - مميزات المتممات الاستاتيكية *Advantages of static relays*

١ - تحتاج المتممات الاستاتيكية لقدرة استهلاك صغيرة جداً (*Power consumption or burden*)، تؤخذ من محولات التيار او الجهد لتغذية المتمم ، وذلك بالمقارنة بالمتممات الكهرومغناطيسية (التقليدية) المماثلة ، وبمعنى آخر يحتاج عنصر القياس بمتمم استاتيكى لقدرة تشغيل اقل مما يحتاجها عنصر قياس بمتمم تقليدى مماثل . فمثلاً القدرة التى يحتاجها متمم وقاية ضد زيادة التيار من النوع الاستاتيكى تقدر بحوالى ١ مللى وات بينما لمتمم مماثل ولكن من النوع التقليدى يحتاج لحوالى ٢ وات تقريباً .

يبين جدول (١-٣) القيم القياسية لعبئ (*burden*) بعض المتممات الاستاتيكية بينما يعطى جدول (٢-٣) مقارنة بين عبء بعض انواع المتممات الاستاتيكية والمتممات الكهرومغناطيسية من تجارب عملية .

ومن الاهمية ملاحظة ان انخفاض عبء المتممات الاستاتيكية تؤدى الى :-

أ - امكانية استخدام محولات تيار وجهد لها عبء صغير .

ب - ارتفاع درجة الدقة (*accurcy*) لمحولات التيار والجهد المستخدمة .

جـ - التغلب على مشاكل تشبع محولات التيار .

ء - امكانية استخدام محولات التيار ذات الثغرة الهوائية .

هـ - انخفاض سعر محولات التيار والجهد .

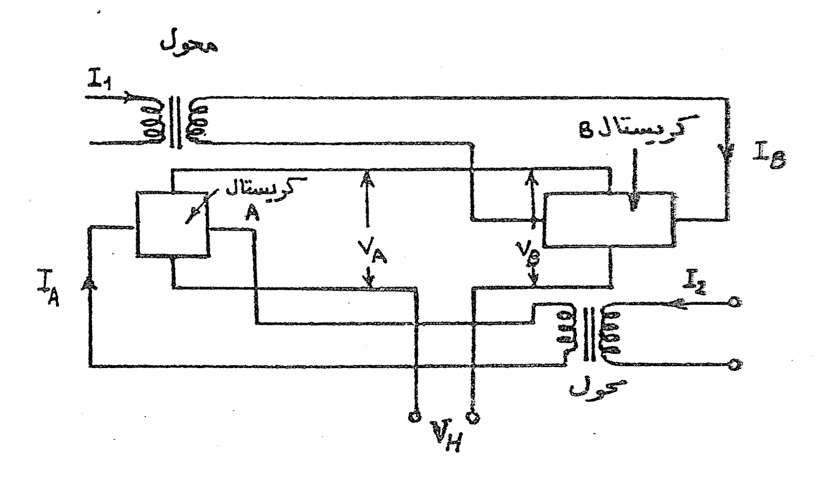
٢ - ان غيا الاجزاء المتحركة فى المتممات الاستاتيكية ، ممثله فى نقط التلامس *(moving contact)* تحمى المتمم من التعرض لمشكلات نقط التلامس من حيث حدوث قوس كهربى *(arcing)* وتآكل نقط التلامس *(errosion)* وتاثيرات النقل والجاذبية *(gravity)* ، والقصور الذاتى الميكانيكى *(mechanical inertia)*.

جدول ١-٣

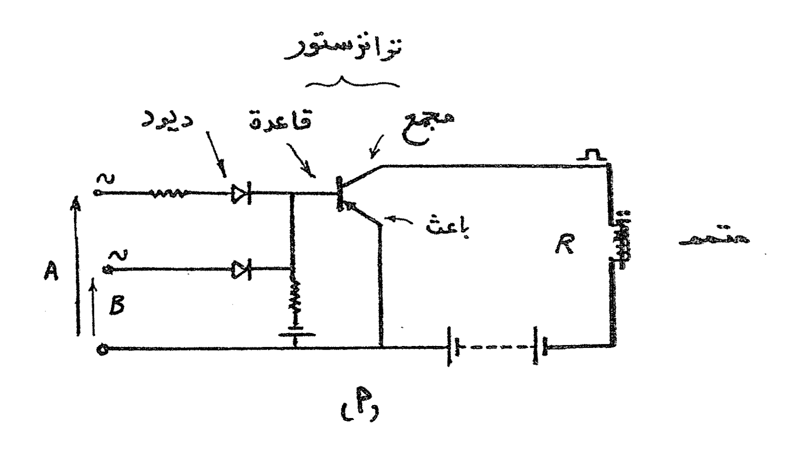
النـــــوع	العبء / وجه
١ - متممات قياس (لحظيا)	
أ - جهاز تيار - يتم ضبط قيمة التيار لدائرة القياس لحدود ٠,٣ - ٢٠ أمبير .	٧-١٠٠ مللى ڤولت امبير
ب - جهاز جهد - يتم ضبط قيمة الجهد لدائرة القياس للقيم ٢٤/٤٨/٦٠ ڤولت *(d.c)*	٢٠ مللى ڤولت امبير
٢ - متمم وقاية ضد زيادة التيار بتأخير زمنى يتم ضبط قيمة التيار لحدود ١ - ٨ أمبير	٠,٣-٠,٨ ڤولت امبير
٣ - متمم وقاية مسافية (عند قيم التيار والجهد الاسمى)	
أ - دائرة التيار	٠,٢ - ٠,٣ ڤولت امبير
ب - دائرة الجهد	٠,٨-٠,٩ ڤولت امبير
٤ - متمم وقاية تفاضلى	
أ - عند تيار أسمى ١ أمبير	٠,٠٢ ڤولت أمبير
ب - عند تيار أسمى ٥ أمبير	٠,١٨ ڤولت أمبير

جدول ٢ – ٣

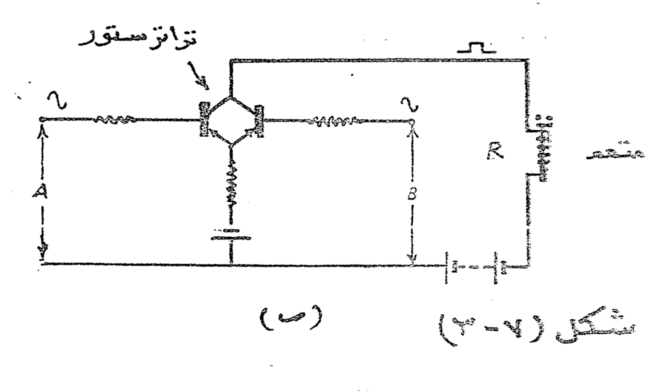
النـــــوع	كهرومغناطيسى		استاتيكـــى	
	باستخدام التيار	باستخدام الجهد	باستخدام التيار	باستخدام الجهد
١– متمم وقاية نو تأخير زمنى محدد	——	٢٥ ف أ (١١٠فمتردد) ١٠وات (١١٠ف.مستمر)	——	٢,٥ف.أ (١١٠ف.متردد) ٤,٤٦وات (١١٠ف.مستمر)
٢– متمم وقاية تفاضلى (*biased*)	ملف التشغيل ٦,ف.أ عند ضبط ٤٠٪ ٣,٧ف.أ عند ضبط ١٠٠٪ – ملف الحياز (*bias*) ٤, ف.أ عند ضبط ٤٠٪	—	٣٣ ف أ عند ١ امبير ١ ف أ عند ٥ امبير	——
٣– متمم وقاية مسافية نو خاصية (ذات ثلاثة مراحل) Mho	٤,–٨,٥ف.أ معتمداً على قيمة الضبط	٢٠ ف أ	٠٤,–٨,٧ ف أ معتمد على قيمة الضبط وقيمة التيار الاسمى ٥،٢،١ امبير	٨,٧–٢,١١ف.أ
٤– متمم وقاية مسافية يستخدم للاعطال الارضية او الاوجه Switched.	٤,–٨,٥ ف.أ معتمداً على قيمة الضبط	٢٠ ف أ	٢–٣ ف.أ	٨–٩ ف أ
٥– متمم وقاية ضد زيادة التيار (نو زمن عكسى) .	٧٥,–١,٣ف.أ معتمداً على قيمة الضبط	—	٠٢, –١٣, ف.أ معتمدا على قيمة الضبط وعلى قيمة التيار الاسمى المستخدم	—
٦– متمم وقاية ضد زيادة التيار نو زمن لحظى .	٧,–١٠ف.أ معتمداً على قيمة الضبط	—	١٠٠ مللى ف. أ	—
٧– متمم وقاية ضد ارتفاع الجهد.	—	٢ ف أ	٢, ف. أ	



شكل (٦-٣)



(أ)



(ب)

شكل (٧-٣)

٣ - زمن التشغيل *(Operating time)* سريع جداً ، لعدم أحتواء المتممات الاستاتيكية على أجزاء متحركة وخاصة بعنصر القياسات ، وامكن الحصول على زمن كلى حوالى من ٠,٥ الى ١ دورة بينما لا يمكن الحصول على هذا الزمن فى المتممات التقليدية .

٤ - يمكن الحصول على خصائص متنوعه *(Various characteristics)* ومعقدة باستخدام المتممات الاستاتيكية اكثر من الاجهزة التقليدية ، مثلاً يمكن الحصول على شكل تفاحة كخاصية معينة لمتمم وقاية مسافية ، او الحصول على اكثر من شكل متداخل يمثلا شكلا غير تقليدياً .

٥ - لاتحتاج المتممات الاستاتيكية لعمليات صيانة لغياب الاجزاء المتحركة ومايصاحبها من مشاكل التاكل والاحتكاك .

٦ - يمكن باستخدام دوائر خاصة للمتممات الاستاتيكية الوصول بزمن الاستعادة *(reseting time)* وكذلك بزمن التجاوز *(overshoots time)* لاقل قيمة ممكنة ، وبالتالى ترتفع قيمة حساسية المتمم .

٧ - يمكن اضافة نظام تحميل خط *(Power line carrier)* مع المتممات الاستاتيكية، لتشغيل اضافى للمتممات عن بعد*(Remote back-up)* ، كذلك فى نظم المراقبة المركزية *(Centrally monitored system)* يستخدم كمبيوتر رقمى للحصول على وقاية اضافية .

٨ - تعتبر المتممات الاستاتيكية صغيرة الحجم جداً *(Compactness)* بالنسبة للمتممات التقليدية وعلى الاخص عند استخدام الدوائر المتكاملة *(Integrated circuit)* وبذلك تم تصنيع نظم وقاية بالكامل فى لوحة واحدة *(Panel)* .

٩ - توصف المتممات الاستاتيكية بأنها يمكن ان تفكر *(Think)* ، وذلك لاحتوائها على دوائر منطقية *(Logic)* ، والمنطق يعنى عمليات استنتاجية وحاثية .. بمعنى ان يعمل المتمم عند شروط معينة بينما عندما لا تحقق شروط التشغيل لايعمل المتمم ويظل مستقراً .

١٠ - يمكن تصميم المتممات الاستاتيكية بحيث تستجيب لعمليات تكرار التشغيل *(Repeated operations)* اذا احتاج الامر .

١١ - تتحمل المتممات الاستاتيكية تأثير الاهتزازات والصدمات (Vibrations & Shocks) مما يجعلها اقل عرضة لحالات الفصل الخاطئ (maloperation) عن مثيلتها بالمتممات التقليدية وبالتالى يمكن استخدامها بأمان فى الاماكن العرضه للاهتزازات والصدمات مثل السفن والطائرات والمعدات المتحرك عموماً .

١٢ - يمكن باستخدام محول طاقة (Transducer) تحويل اى كميات غير كهربائية الى كميات كهربائية لتغذية المتممات الاستاتيكية .

١٣ - يمكن اضافة عمليات تكبير (Amplification) اذا احتاج الامر . وبالتالى الوصول الى حساسية عالية للمتممات .

١٤ - تعتبر المتممات الاستاتيكية ذات عمر طويل اذا امكن تطبيق شروط تشغيلها من حيث درجة الحرارة المحيطة والحفاظ على الجهد المساعد مستقراً .

٣ - عيوب المتممات الاستاتيكية *Disadvantages of static relays*

١ - تحتاج المتممات الاستاتيكية لمصدر جهد (d.c) مساعد ، لتشغيل العناصر المكونة لها وامكن التغلب على ذلك بأستخدام جهد بطاريات المحطة الكهربائية ، المراد تركيب المتممات بها . ثم تخفيض هذا الجهد الى القيمة المناسبة اللازمة .

٢ - عند تعرض مكونات المتممات الاستاتيكية ، المواد شبة الموصله (Simeconductor elements) ، للجهود الفجائية او للجهود المرتفعه التى تنتج عند فصل دوائر التحكم فقد تنهار وتؤدى الى تشغيل خاطئ للمتممات والتغلب على ذلك فقد تم اضافة مرشحات (Filteres) ، وحواجز (Shielding) عند مدخل دوائر الجهد .

٣ - تتأثر مكونات المتممات الاستاتيكية بدرجات الحرارة المحيطة . وذلك لتأثر المواد شبة الموصلة وتغير خصائصها بتغير درجات الحرارة المحيطة فمثلاً نجد ان عامل التكبير (Amplification factor) للترانزستور يتغير بتغير درجات الحرارة ، ويعتبر هذا العيب من أخطر المشكلات التى واجهت صناعة المتممات الاستاتيكية فى بداية انشائها وقد امكن الوصول الى تشغيل المتممات عند درجات حرارة بين - ١٠° الى + ٥٠° م وذلك عن طريق :

أ - عدم تأثر الخصائص العامة للمتمم كوحدة كاملة عند تغير خصائص اى مكون

في الدائرة .

ب – أضافة معوضات للتغلب على هذه المشكلة ومن امثلة ذلك دوائر ثرمستور *(Thermister circuit)* ونظام القياس الرقمي .. وبذلك نتأكد ضمان اشتغال المتممات الاستاتيكية عند درجات حرارة محيطة بين -١٠° م ، + ٥٠° م .

٤ – نتيجة لارتفاع سعر بعض العناصر المستخدمة فى تكوين المتممات الاستاتيكية بالاضافة الى عدم انتشار المتممات الاستاتيكية وبيعها بنفس معدل المتممات الكهرومغناطيسية ، فان سعر المتممات الاستاتيكية يعتبر مرتفعاً بالنسبة للمتممات الكهرومغناطيسية ولكن فى السنوات الماضية انخفض سعر العناصر من المواد شبه الموصله وسوف ينخفض اكثر فى السنوات المقبله اذا زاد الطلب على المتممات الاستاتيكية فسوف تصل الى سعر مقارب الى اسعار المتممات الكهرومغناطيسية .

٥ – تعتمد اغلب المتممات الكهرومغناطيسية على عمليات مقارنه عزم التشغيل وذلك لعدم تاثير عمليات اللقط *(Pick-up)* والاستعادة *(Reset)* على خصائص المتممات ، بينما تؤثر عمليات تشغيل عنصر المخرج *(Output element)* على خصائص المتممات الاستاتيكية .

٦ – يجب ان يكون الاشخاص الذين يقومون بعمليات التشغيل والتركيب والاختبارات للمتممات الاستاتيكية على درجة عالية من التدريب والخبرة .

٧ – يمكن حدوث انهيارات لمكونات المتممات الاستاتيكية عند تعرضها لبعض حالات زيادة الحمل *(Over loading)* ، وقد امكن التغلب على ذلك بالتصميم الدقيق والجيد .

٢-٣ مكونات متممات الوقاية الاستاتيكية

تتكون ذرة اى مادة من نواة موجبة التكهرب يدور حولها عدد من الالكترونات سالبة التكهرب وتعتبر الذرة متعادلة كهربياً ، حيث ان الشحنة الموجبة التى تحملها النواه تساوى فى المقدار مجموع الشحنات السالبة التى تحملها الالكترونات ، وتحاط النواة بالالكترونات على شكل مدارات كل مدار يحتوى على عدد من الالكترونات ، بحيث تكون الالكترونات فى اى مدار لها نفس الطاقة الكلية تقريباً . وتكون طاقة الالكترونات الخاصة بأبعد مدار عن النواة هى اقل طاقة وتتحددالخواص الكيميائية والطبيعية للمادة بالالكترونات الموجودة فى ابعد مدار ، وتسمى هذه الالكترونات بالالكترونات الحرة أو

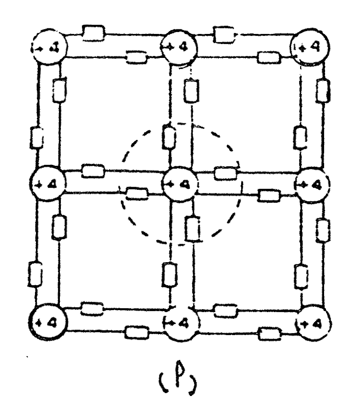
المستعدة ، لانها فى حالة استعداد دائم للتفاعلات الكيميائية والتوصيل الكهربى فاذا كانت الكترونات ابعد مدار طليقة من ذرتها وتتحرك داخل المادة فى سهولة فالمادة تكون معدنية ذات درجة توصيل عالية للكهرباء ، واكثر المعادن توصيلاً هى الفضة ثم النحاس ثم الالمونيوم وتتراوح المقاومة النوعية للموصلات من $١٠^{-١}$ الى $١٠^{-٤}$ اوم . متر . اما اذا كانت الالكترونات المستعدة مقيدة الى الذرة بقيود يصعب فكها فتكون المادة عازلة للكهرباء مثل الميكا ـ المطاط ـ البلاستك ـ البرسبان ـ البكاليت وتكون المقاومة النوعية للمواد العازلة تتراوح بين $١٠^{٦}$ الى $١٠^{١٨}$ اوم ـ متر . اما المواد شبة الموصلة فهى المواد التى تتراوح المقاومة النوعية لها بين $١٠^{١}$ الى $١٠^{٤}$ اوم ـ متر ومن المكونات الرئيسية لهذه المواد الجرمانيوم والسيليكون وهى تقع بين حالتى المواد الموصلة والمواد العازلة .

١- المواد شبة الموصلة *Semiconductor material*

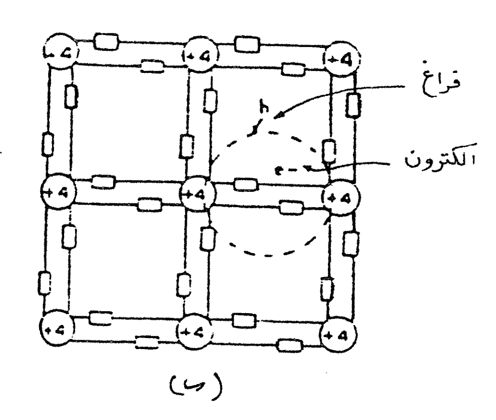
تنقسم المواد عموماً الى مواد موصلة ومواد عازلة ومواد شبه موصله (وهى مواد صلبة تقع خصائصها بين خصائص المواد الموصلة وخصائص المواد العازلة) وتحتوى المواد الموصلة على عدد كبير من الالكترونات الحرة *(Free Electrons)* ولذلك فعند تسليط جهد كهربى صغير على طرفى المادة الموصلة ، يمر تيار كبير بها نتيجة حركة الالكترونات فى عكس اتجاه الجهد .

بينما تكون الالكترونات فى المواد العازلة مقيدة بالذرات *(atoms)* وقديكون عدد قليل جداً من الالكترونات حراً .

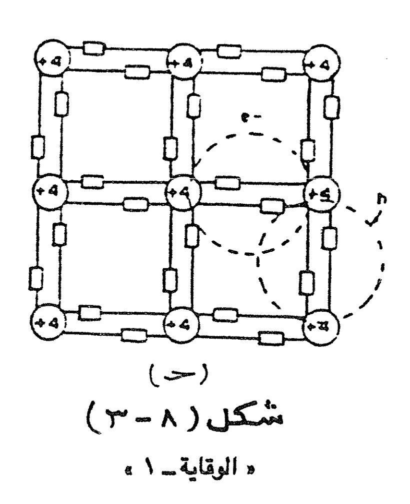
اما المواد شبه الموصله مثل الجرمانيوم *(Germanium)* والسيليكون *(Silicon)* فيحتوى المدار الخارجى لكل منهما على عدد ٤ الكترونات . ويوضح شكل (٨-٣) أ التركيب البللورى *(Crystalline structure)* لكل منهما ـ اى الربط المشترك *(Covalent bonds)* عند درجة حرارة منخفضة (حالة عدم التوصيل) ويتضح من الشكل ان كل ذرة *(atom)* تشكل ربط مشترك رباعى مع اربعة ذرات مجاورة وعلى ذلك يطلق على عينه نقية من السيليكون او الجرمانيوم انها فى استقرار ربط مشترك . واذا تعرضت العينة لطاقة حرارية فيمكن ان يؤدى ذلك الى قطع الربط المشترك وينتج عنه الكترون حر . فى الوقت نفسه فان غياب الالكترون من مكانه ـ اى الفراغ الذى تركه بعد رحيله يمثل شحنة موجبة ويعرف بالفراغ *(Hole)*. ويعتمد مرور التيار فى المواد الموصلة على حركة



(أ)



(ب)



(حـ)

شكل (٨ - ٣)

الالكترونات الحرة فقط ولكن فى المواد شبه الموصله يعتمد مرور التيار على كل من الالكترونات (*Electrons*) والفراغات (*Holes*) .

يوضح شكل (٨-٣) ب الكترونات حرة وفراغات . بينما يوضح شكل (٨-٣) جـ آلية التيار نتيجة حدوث فراغات (*Holes*).

والجدير بالذكر ان تركيز الالكترونات او الفراغات (n_i) لعينة نقية من الجرمانيوم او السيليكون ، عند درجة حرارة ١٥° م ، تكون

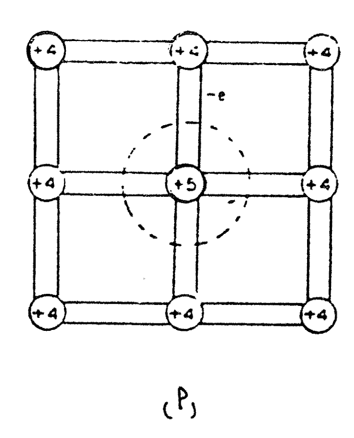
٢ × ٣ ١٠ لكل سم٣ لمادة الجرمانيوم

١٠ ١٠ لكل سم٣ لمادة السيليكون

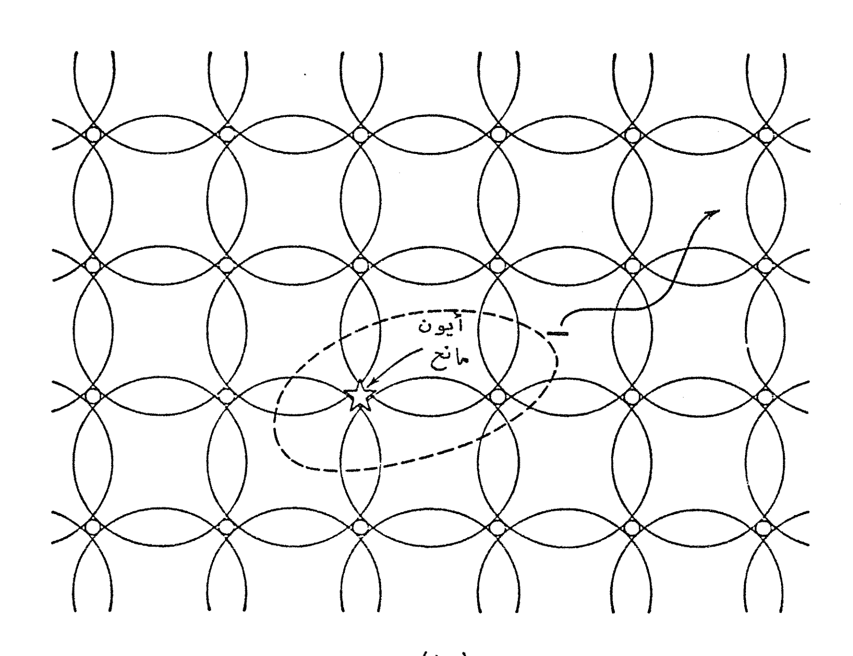
ويتضاعف التركيز لمادة الجرمانيوم لكل زيادة ١٠° م ولمادة السيليكون لكل ٦° م .

تتحسن وتتغير خصائص الجرمانيوم والسيليكون بإضافة بعض انواع الشوائب (*Impurities*) لهما ويحتوى المدار الخارجي لبعض هذه الشوائب على ٥ الكترونات فإذا أضيفت للجرمانيوم او السيليكون ، والتى يحتوى مدارها الخارجي على عدد ٤ الكترونات تكون فى ربط مشترك معها ويترك الكترون حر ومن أمثلة هذه الشوائب : الفسفور (*Phosphorous*)، الزرنيخ (*Orsenic*)، انتيمون (*Antimony*) وتسمى بالشوائب المانحة (*Donor*) وتزيد خاصية التوصيل للمواد شبه الموصلة بأضافة جزء بسيط من هذه الشوائب اليها . وتعرف المواد شبه الموصلة بعد اضافة اى من هذه الشوائب اليها ، بالمواد من النوع *N* (*N-Type*) والتى يكون فيها الاكترونات (*electrons*) اكثر تركيزاً من الفراغات (*Holes*) ويتضح من شكلى (٩-٣) أ ، ب التركيب البلـورى للنوع *N* .

كما ان هناك انواع آخرى من الشوائب يحتوى مدارها الخارجي على عدد ٣ الكترونات فاذا اضيفت احداها الى الجرمانيوم او السيليكون ، والتى يحتوى مدارها الخارجي على عدد ٤ الكترونات ، فتكون فى ربط مشترك معها وتظهر فراغات زائدة ومن امثلة هذه الشوائب انديوم (*Indium*)، جاليوم (*Gallium*)، الومنيوم (*Aluminium*) وتسمى بالشوائب القابلة (*Acceptor*) اى تتقبل اى الكترون اضافى وتعرف المواد شبه الموصله بعد اضافة اى من هذه الشوائب اليها ، بالمواد من النوع *P* (*P-type*) ، وشكلى (٩-٣) جـ ، ء يوضحان هذا النوع ويعرف تركيز الاقلية للمواد شبه الموصله من النوع *P* او *N* كالآتى :



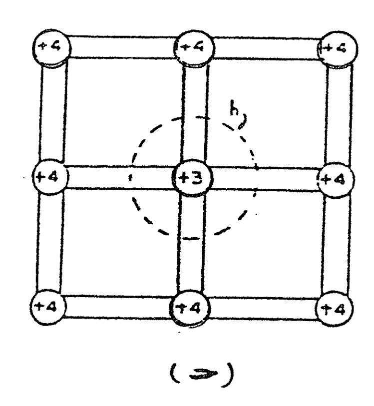
(أ)



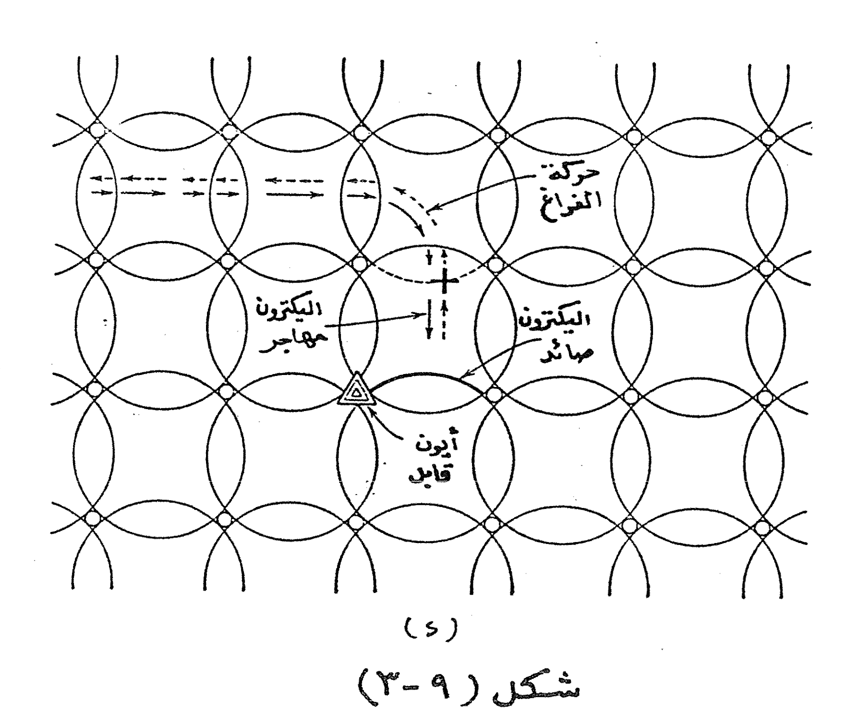
(ب)

شكل (٩ - ٣)

« الوقاية ـ ١ »


+4
+4
+4
+4
+3
+4
+4
+4
+4
h

(حـ)


حركة الفراغ
اليكترون مهاجر
اليكترون صائد
أيون قابل

(د)

شكل (٩ - ٣)

$$Minority\ Carrier\ Concentration = \frac{n_i^2}{N_A} \ or \ \frac{n_i^2}{N_D}$$

حيث :

n_i = تركيز الالكترونات او الفراغات لكل سم٣

N_A=تركيز الاكثرية المحملة للمادة القابلة

Majority carrier Acceptor concentration

N_D = تركيز الاكثرية المحملة للمادة المانحة

Majority Carrier Donor Concentration

وبشكل عام يفضل حالياً إستخدام السيليكون فقط ، نظراً لان الجرمانيوم سريع التاثر بدرجات الحرارة .

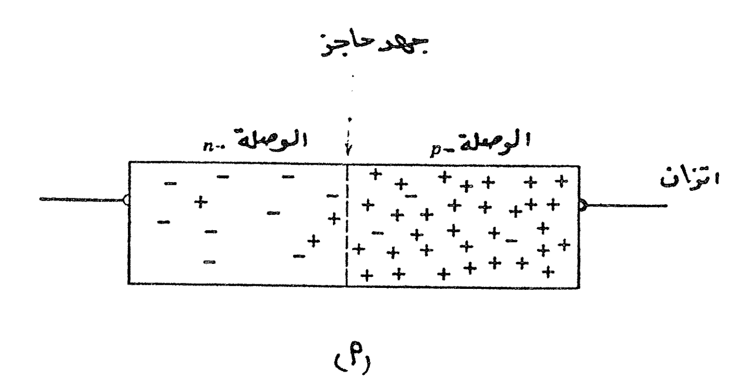
وصلة p N *(P.N Junction)*

فى حالة عمل وصلة للفرعين P،N ولم يسلط عليها اى جهد خارجى ، يحدث انتشار للاكترونات الموجودة فى الوصلة N الى الوصلة p والعكس بالعكس ، وينتج عن هذا ما يعرف بالجهد الحاجز *(Potential barrier)* بين الوصلتين ويكون ما يشبه مجال خارجى (قوة دافعه كهربائية *e.m.f*) مسلط بين الوصلتين كما فى شكل (١٠-٣) أ .

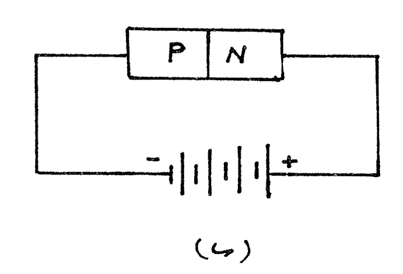
حالة الحياز العكسى *Reverse bias condition*

عند توصيل بطارية على طرفى وصلة PN كما فى شكل (١٠-٣) ب ، حيث يوصل القطب السالب بالمنطقة P ، فان جهد البطارية يضاف الى جهد الحاجز الداخلى ، وبالتالى فان احتمال الاكثرية المحملة *(Majority carrier)* يقل خلال الوصلة ، ويتركز عند الوصلة فقط ، وتكون النتيجة مرور تيار صغير جداً فى عكس الاتجاه .

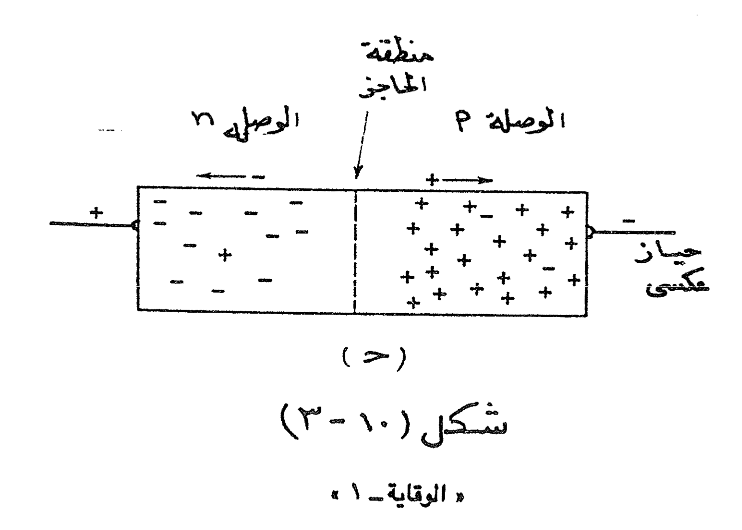
وبمعنى آخر أنه عند توصيل القطب السالب بالمنطقة P ، بالنسبة للمنطقة N كما فى شكل (١٠-٣) جـ ، فان الاكترونات والفراغات تتحرك بعيداً عن منطقة الحاجز *(Barrier)* اى يحدث تنافر بينهما ، تاركة كل منهما منطقة الحاجز خالية من الشحنات


جهد حاجز
الوصلة -n
الوصلة -p
اتزان

(أ)

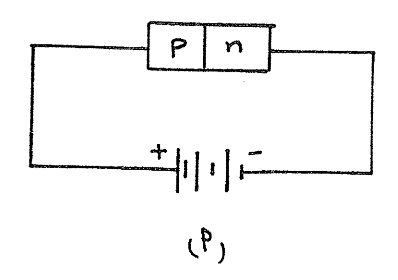

P
N
-
+

(ب)

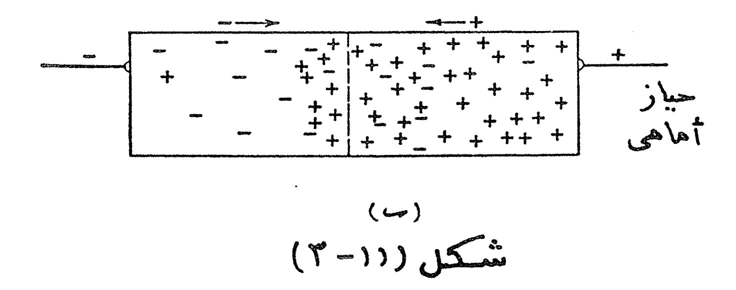

منطقة
الحاجز
الوصلة n
الوصلة P
+
-
حياز
عكسى

(حـ)

شكل (١٠ - ٣)

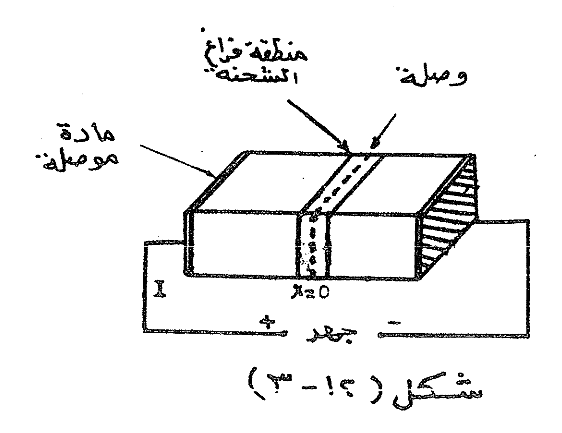


(أ)



(ب)

شكل (١١-٣)



شكل (١٢-٣)

المحملة *(Carriers)* ، وهذا مايعرف بالحياز العكسى .

حالة الحياز الامامى *Forward bias condition*

عند توصيل بطارية على طرفى وصلة *PN* كما فى شكل (١١-٣) أ ، بحيث اذا وصلنا القطب السالب بالمنطقة *N* ، فان المصدر الخارجى يحدث قوة دافعه كهربائية *(emf)* تتغلب على جهد حاجز الوصلة ، وتصبح الوصلة فى حالة حياز امامى ويمر تيار بالوصلة *PN* فى الاتجاه الامامى . وبمعنى آخر أنه عند توصيل القطب الموجب بالمنطقة *P* ، بالنسبة للمنطقة *N* ، كما فى شكل (١١-٣) ب ، فان الالكترونات والفراغات تتحرك فى اتجاه منطقة الحاجز اى انها تتجاذب مع بعضها ، واذا كان النوع *P* المستخدم ذى شحنات محملة *(Carriers)* وفيره فان اغلب التيار المار فى الوصله يتم بواسطة الفراغات ، ويمر تيار كبير فى الوصلة ، ويجب مراعاة ان تكون قيمة الجهد المسلط كافية لحفظ حركة الالكترونات والفراغات فى أتجاه بعضها البعض ، وهذا مايعرف بالحياز الامامى .

وصلة فجائية *Abrupt junction*

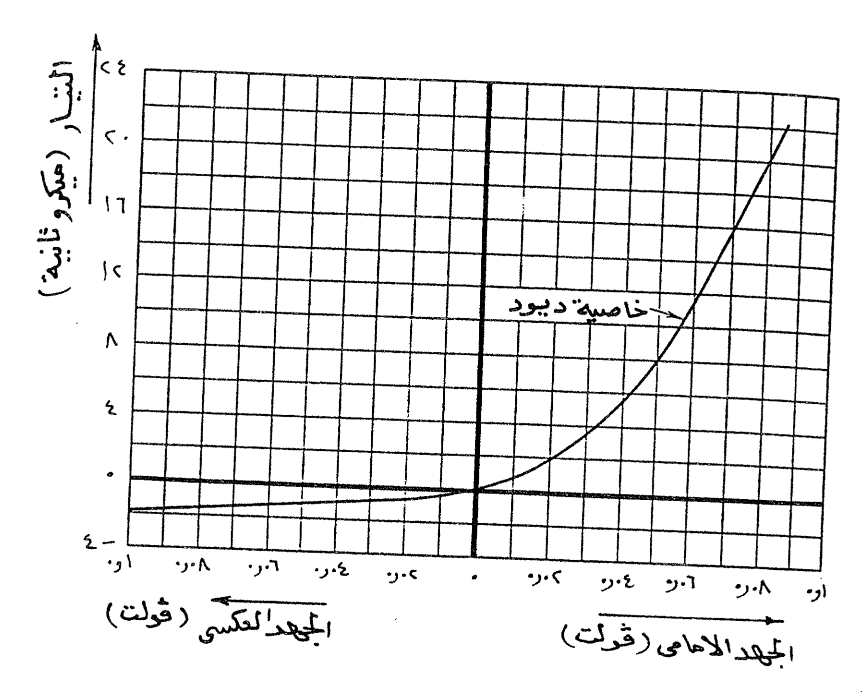
هذه الوصلة عبارة عن منطقة تحويل من سبيكة توصيل رقيقة جداً يقل سمكها عن $١٠^{-٦}$ سم وموجودة بين منطقتين احداهما من النوع *P* والاخرى من النوع *N* .

جهد حاجز الوصلة *Junction potential barrier*

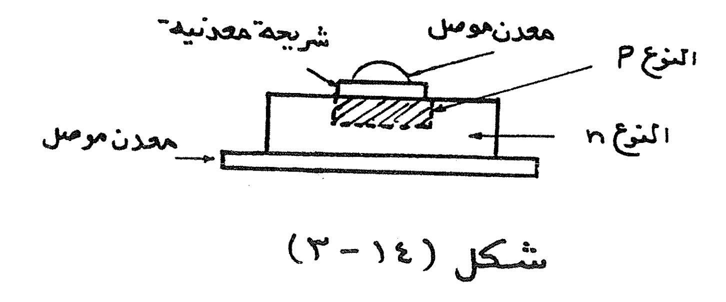
منطقة الحاجز *(Barrier layer)* او منطقة فراغ الشحنة *(Space charge layer)* هى المنطقة الموضحة بالشكل (١٢-٣) وتعتمد قيمة الجهد فى هذه المنطقة على توزيع الشوائب قرب الوصلة ، وتزيد شحنة منطقة فراغ الشحنة مع زيادة الجهد وعلى ذلك فان هذه المنطقة لها سعوية *(Capacitance)* معينة .

العلاقة بين التيار والجهد

عند تطبيق حالتى حياز عكسى او حياز امامى على وصله *PN* من الجرمانيوم ، فان العلاقة بين التيار والجهد فى الاتجاه الامامى والاتجاه العكسى موضحة بالشكل (١٣-٣) وبذلك تكون الوصلة *PN* لها خاصية عملية التوحيد *(Rectifying)* وتتأثر المقارمة النوعية للوصلة *PN* بدرجة الحرارة حيث انها تنخفض مع ارتفاع درجة الحرارة المحيطة . من الملاحظ ايضاً انه عند تسليط جهد متردد *ac* بين طرفى وصلة *PN* فانه يمر تيار كبير فى النصف دورة عندما تكون *P* موجبة ، *N* سالبة .



شكل (١٣ - ٣)



شكل (١٤ - ٣)

٢- الديودات *Diodes*

الديود عبارة عن وصلة *PN* مجهزة بطريقة لاغراض التوصيل ، وتتكون ببساطة كما فى شكل (١٤-٣) ، من جزء من النوع *P* وجزء من النوع *N* بينهما منطقة رقيقة جداً للتحول من النوع *P* الى النوع *N* ويتم التوصيل الكهربى عن طريق اللحام اوترسيب بالبخار او باستخدام الضغط .. وفى النهاية تكون جميع مكونات الديود محكمة فى كبسولة من مادة الاكسبوكس *(expoxy)* .

وعموماً فان الديود عبارة عن وصلة *PN* تكون جيدة التوصيل للكهرباء فى اتجاة معين ، وهو اتجاه السهم كما فى شكل (١٥-٣) أ او الاتجاه الامامى ، وتكون غير موصلة فى الاتجاه العكسى . كما فى شكل (١٥-٣) ب بمعنى آخر يكون الديود ذا مقاومة صغيرة فى الاتجاه الامامى ، وذا مقاومة كبيرة فى الاتجاه العكسى وتعرف اطراف الديود بالكاثود والانود .

وهناك انواع متعددة من هذة الوصلة تصنف صناعياً كالآتى :

- طريقة وصلة نمو *Grown-junction method*
- طريقة وصلة سبيكة *Allay-junction method*
- طريقة وصلة منتشرة *Diffused-junction method*

ويحدد الصانع قيمة ذروة الجهد العكسى الذى يتحمله الديود *(Peak inverse voltage)* ويرمز له بالرمز *(P.i.v)* (كذلك يجب ان يراعى عند استعمال ديود فى دائرة جهد متردد *(a.c)* الا يتعدى اقصى جهد متردد مستخدم قيمة ذروة الجهد العكسى للديود) . والبيانات الرئيسية للديود هى :

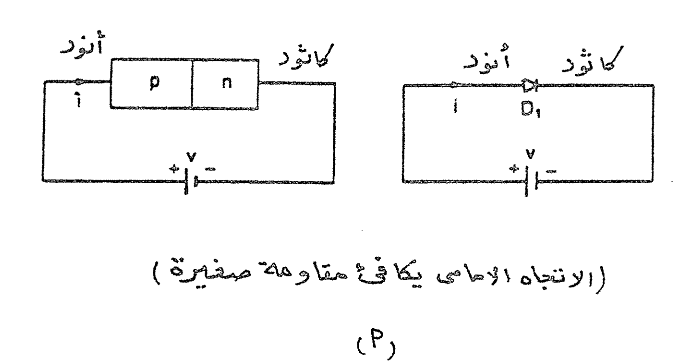
ذروة الجهد العكسى ـ اقصى قدرة فقد ـ أقصى جهد تشغيل ـ أقصى تيار ـ درجة حرارة التشغيل ـ درجة حرارة التخزين ـ السعوية ـ زمن الاسترجاع .

بعض أنواع الديودات

أ- ديود نقط توصيل *Point contact diode*

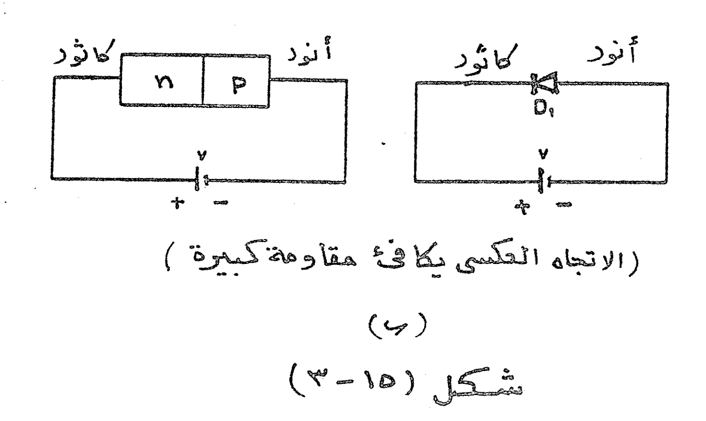
يعتبر اقدم انواع الديودات حيث تم تصنيعه عام ١٩٠٦ من بللور جالينا *(Crystals of galena)* (وهو عبارة عن كبريتيد الرصاص *Lead sulphide*).

وقد تطور بعد ذلك باستخدام المواد شبه الموصلة من النوع *N* مع سلك رفيع من مادة



(الاتجاه الامامى يكافئ مقاومة صغيرة)

(P)



(الاتجاه العكسى يكافئ مقاومة كبيرة)

(ب)

شكل (١٥-٣)

البرونز الفوسفورى *(Phosphor bronze)* ويوضح شكل (١٦-٣) أ مكونات هذا النوع ومن خصائصه :

متوسط التيار الاسمى لايتعدى : ٥٠ مللى أمبير

اقصى تيـــار اسمـــى امامـــى : ١٥٠ مللى أمبير

اقصـــى جهـــد اسمـــى عكس : ١٥٠ ڤولت

وغالباً يستخدم الجرمانيوم فى تصنيع ذلك الديود وتكون العلاقة بين التيار والجهد كما فى شكل (١٩-٣) ب ويستخدم هذا النوع فى الترددات العالية والدوائر التى تحتاج لاستجابة سريعة ويوضح شكل (١٦-٣) جـ صورة لديود نقط توصيل

ب - ديود تحميل حرارى *Hot carrier diode*

يسمى احياناً *(Schottky barrier diode)* وهو عبارة عن سيليكون من النوع *N* *(N-type)* من خصائصه : مساحة مقطع الموصل كبيره ـ السعوية كبيره ـ قدرة كبيرة

جـ - موحدات معدنية *Metallic rectifiers*

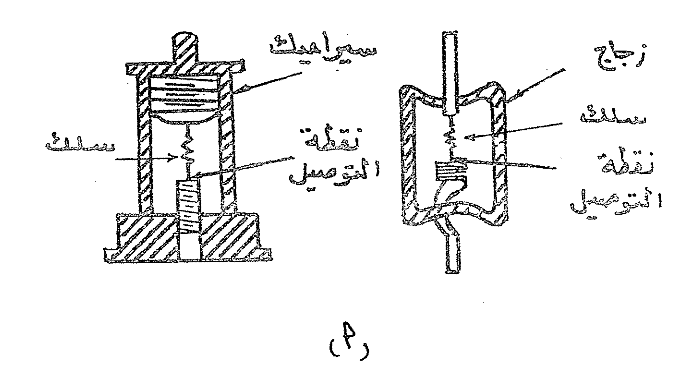
يستخدم معدن ذو مقاومة اتصال *(Ohmic contact)* واعتباره الكاثود ـ بينما الانود يكون من مادة شبة موصلة ـ بمعنى أخر يستخدم معدن مع مادة شبه موصلة مكوناً مايشبه الديود ـ والمعادن المستخدمة عبارة عن اكسيد النحاس *(Copper oxide)* او معدن سلينم *(Selenium)* ويتم اجراء الاتصال عن طريق عمليات كيميائيـة او الكتروليتية .

الموحدات المعدنية من اكسيد النحاس *(Copper oxide rectifier)* عبارة عن مادة شبه موصلة من النوع *P* مع مادة النحاس ، واقصى جهد عكس لها ١٠ ڤولت .

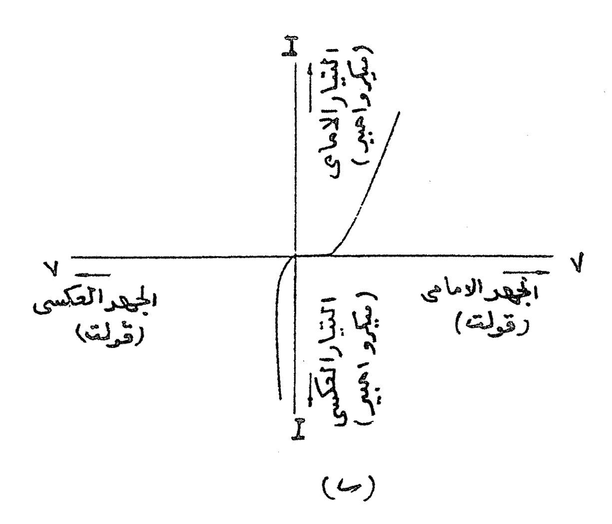
بينما موحدات سلينم *(Selenium rectifier)* عبارة عن مادة شبة موصلة من النوع *P* مع مادة سلينم ولكن اقصى جهد عكسى لها ٢٥ ڤولت عند أقصى درجة حرارة تشغيل .

ء - ديود محدد التيار *Current limiting diode*

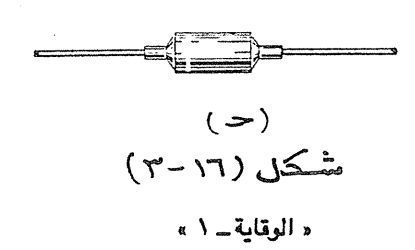
عند تسليط جهد بين طرفيه، فانه يسمح بمرور تيار ثابت لفترة طويلة ، ولذلك يستخدم كمنظم للتيار . ويمكن استخدامة فى الدوائر الآتية : دوائر حياز *Bias circuit* مكبرات تفاضلية *Differential amplifier* ، مولدات اشارات مدرجة ومائلة *Ramp and*


سيراميك
سلك
نقطة التوصيل
زجاج
سلك
نقطة التوصيل

(أ)


I
التيار الامامى (ميكروامبير)
V
V
الجهد العكسى (فولت)
الجهد الامامى (فولت)
التيار العكسى (ميكرو امبير)
I

(ب)



(حـ)

شكل (١٦-٣)

stair generators ، الى جانب استخدامة كوقاية ضد زيادة التيار (Overcurrent protection) .

هـ- ديود مستوى Planer diode

وهو من الانواع الموثوق بها ، حيث لديه سعوية منخفضة تساعد على الاستقرار ، ويستخدم فى دوائر تحتاج لسرعة استجابة عالية

و- زينر ديود Zener diode

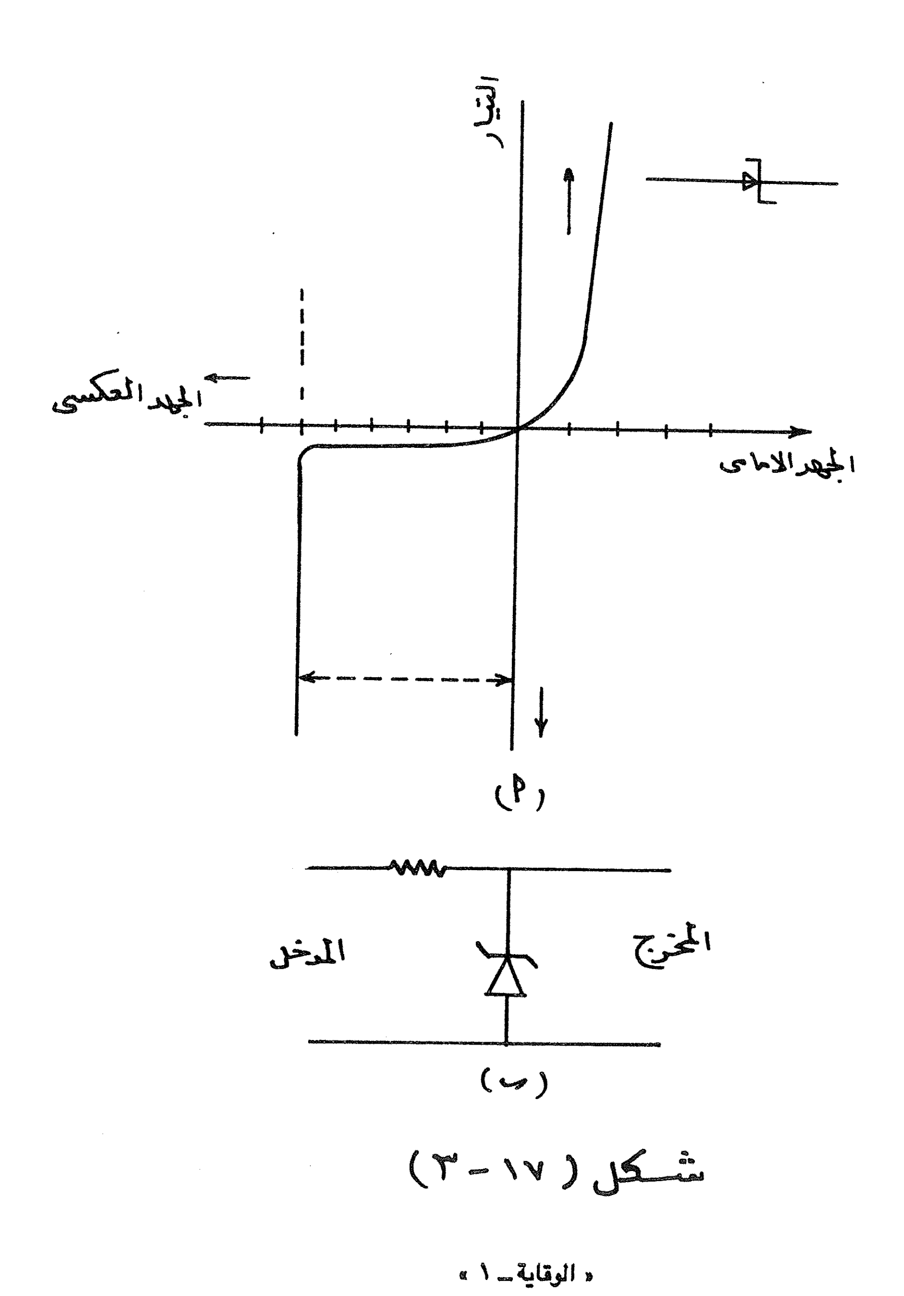
ويعرف احياناً بديود منظم الجهد Voltage regulating diode

هذا النوع عبارة عن ديود سليكونى ، له جهد صغير فى الاتجاه المعاكس ويمر به تيار صغير جداً فى الاتجاه المعاكس ايضاً . ولكن عند جهد الانهيار العكسى يرتفع التيار العكسى ويمكن تحديده عن طريق توصيل مقاومة خارجية . ومهما زاد الجهد المسلط على الديود فى الاتجاه المعاكس فان الجهد يظل ثابتاً عند قيمة معينة ، هى قيمة جهد الانهيار (Breakdown voltage) وتعرف احياناً بجهد زينر Zener voltage ولايحدث للديود انهيار اذا استمر تشغيلة تحت هذا الجهد . وتبدأ قيم جهد الانهيار ، حسب نوع الزينر ديود ، من ٣ ڤولت وتصل الى عدة مئات من الڤولت ولكن نوع الديود الشائع جهد انهياره ٥٠ڤولت . كذلك ينتج الزينر ديود بقدرات مختلفة حتى ١٠٠ وات يوضح شكل (١٧-٣) أ العلاقة بين التيار والجهد . بينما يوضح شكل (١٧-٣) ب طريقة تمثيل زينر ديود .

ويتغير الجهد العكسى بتغيير درجة الحرارة وعندما يكون جهد زينر للديود اعلى من ٥ ڤولت يكون له معامل درجة حرارة موجب (يعرف الديود فى هذة الحالة بديود الانهيار Avalanche diode وهذا يستخدم فى الدوائر التى تتعرض لجهود فجائية) . وعندما يكون جهد زينر للديود اقل من ٥ ڤولت يكون له معامل درجة حرارة سالب . كما يمكن التغلب على تأثير درجات الحرارة عن طريق توصيل ديود فى الاتجاه الامامى . مع زينر ديود يوصل فى الاتجاه العكسى .

ديود ضوئى Photodiode

عند سقوط ضوء على وصلة ديودPN ، فان كثافة الالكترونات والفراغات تزيد بالقرب من السطح العلوى ، كما يحدث انتشار لكل من الالكترونات والفراغات فى كل من المنطقتين البعيدتين عن المنطقة الحاملة (Carrier generation) ، ويكون التيار المار



شكل (١٧ - ٣)

I_{ph} تقل) اى يتكون تيار حياز عكسى مع الاضاءة . بينما اذا تركنا الديود كدائرة مفتوحة فان الوصلة تصبح حياز امامى وتزيد قيمة التيار I_f .

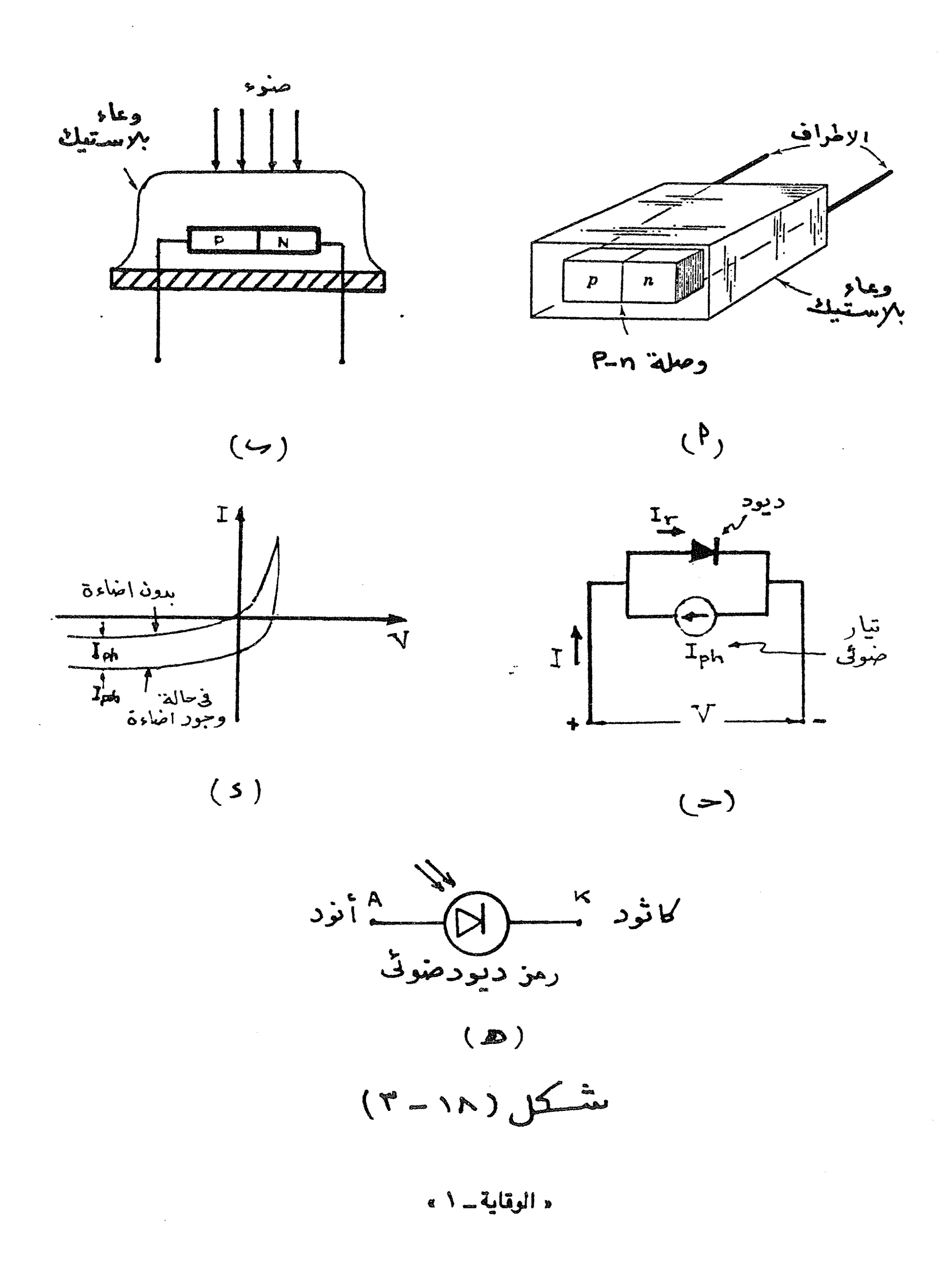
وعند الوصول لحالة التعادل يصبح التيار الامامى I_f مساوياً للتيار الضوئى I_{ph} ويكون الجهد V_{ph} للدائرة المفتوحة ، مساوياً الجهد الامامى V_f . ويسمى هذا الجهد بالجهد الضوئى *Photovoltaic voltage*،ويوضح شكل (١٨-٣) أ مكونات ديود ضوئى (فوتوغرافى) ويوضح شكل (١٨-٣) ب العلاقة بين التيار والجهد فى حالتى وجود وعدم وجود الاضاءة كما يوضح شكل (١٨-٣) جـ تمثيل ديود ضوئى .

ديود انبعاث ضوئى *Light emitting diode*

ويرمز له بالرمز *(LED)* والاسم الشائع له ديود "لد" عند استخدام بعض مواد شبه موصلة ، لها ربط مشترك ثلاثى او خماسى ، مثل زرنيخات الجاليوم *(Gallium arsenide)* ، وفوسفات الجاليوم *(Gallium phosphide)* لعمل وصلة ديود ، بالاتحاد المباشر ، فان هذه المواد تبعث كمية من الضوء . ويحدث هذا الانبعاث الضوئى عندما يكون الديود ذا حياز امامى ، وكذلك يمكن ان يحدث انبعاث فى منطقة الانهيار العكسى ولكن بكفاءة اقل . حيث ان المخرج يتناسب تقريباً مع التيار الامامى لحدود تيار كبير جداً ولكن هذا الانبعاث يحدث فى نطاق ضيق *(Narrow band)* للترددات حول القيمة E_g/h حيث E_g هو جهد الثغرة للمادة المستخدمة ، h ثابت بلانك *(Planckis constant)* ويحدث مخرج للديود المصنوع من مادة زرنيخات الجاليوم فى المنطقة تحت الحمراء *(Infrared)* بينما الديود المصنوع من فوسفات الجاليوم يبعث ضوء أخضر . ويمكن الحصول على ضوء احمر باستخدام سبيكة من المادتين . ومن مميزات الديود الضوئى انه ذو معدل استجابـــة سريع (عمليات التوصيل والفصل) والزمـن النموذجى حوالـــى *10 ns* .

ديود قناة *(Esaki diode) Tunnel diode*

اكتشف العالم *(Esaki)* أنه اذا كان تركيز الشوائب فى مواد من النوع N او P بقيمة من ١٠-٣ الى ١٠-٢ فان قيمة جهد الانهيار *Breakdown voltage* تقل الى الصفر. وتصبح العلاقة بين الجهد والتيار كما فى شكل (١٩-٣) ، ويلاحظ ان المنحنى يرتفع ثم


ضوء
وعاء بلاستيك
P
N
(ب)
الاطراف
وعاء بلاستيك
p
n
وصلة P-n
(أ)
I
بدون اضاءة
V
Iph
في حالة وجود اضاءة
(د)
Ir
ديود
I
Iph
تيار ضوئي
V
(ح)
A أنود
K كاثود
رمز ديود ضوئي
(هـ)

شكل (١٨ - ٣)

يقل ثم يحدث ارتفاع مرة اخرى . فى الجزء الذى ينحدر فيه المنحنى الى اسفل تكون قيمة المقاومة سالبة . يحدث هذا فى الديود الذى يكون كدائرة قصر فى هذه الفترة ، ومعناها حدوث حياز عكسى لقيمة صغيرة للجهد فى الاتجاه الامامى – ويكون التيار المار فى منطقة دائرة القصر مماثلة لظاهرة جهد انهيار زينر ديود – وبعد انتهاء دائرة القصر يعودتشغيل الديود عادياً وتصبح العلاقة فى شكلها الطبيعى (مرتفعه الـــى اعلى)وتستخدم المنطقة التى تكون فيها المقاومة سالبة فى دوائر التكبير للترددات العالية وفى تطبيقات الاستجابة السريعة .

من الخصائص الهامة لهذا الديود: ذروة التيار I_p *(Peak-point current)* ، وتيار نقطة الوادى I_n *(Valley point current)* او النسبة بين I_p/I_n ، وقيمة الجهد V_{Fb} المقابلة للتيار I_p وتعرف *(Forward peak point current volt)* ، والسعوية *c (Capacitance)* ، والمقاومة *R* عند حياز فى منطقة المقاومة السالبة وذروة الجهد *(Peak point voltage)Vp* ، وجهد نقطة الوادى V_n *(Valley point voltage)* .

مقننات الديود *Ratings of diode*

١ – **أقصى تيار عكسى** *Maximum inverse current*

هو أقصى تيار يمر خلال ديود ، عند تسليط جهد مستمر *(d.c)* بين طرفيه بحيث يكون القطب السالب موصل على المنطقة *P* لديود وصلة *(Junction diode)* ، او موصلاً على طرف السلك *(Whisker lead)* لديود نقطة توصيل *(Point contact diode)* .

٢ – **المقاومة الخلفية** *Back resistance*

هى ناتج النسبة بين الجهد العكسى ، المسلط بين طرفى الديود ، والتيار العكسى المار به . عادة تعرف هذه المقاومة عند جهد يساوى (–٥٠ ڤولت) .

٣ – **أقل تيار أمامى** *Minimum forward current*

هو اقل تيار يمر بالديود عند تسليط جهد مستمر *d.c* بين طرفيه ، بحيث يكون القطب الموجب موصلاً على المنطقة *p* او طرف *(Whisker)* للديود .

٤ – **المقاومة الامامية** *Forward resistance*

هى ناتج النسبة بين الجهد الامامى ، المسلط على الديود ، والتيار الامامى المار به وتعرف هذه القيمة ، عادة ، عند جهد يساوى ١ ڤولت .

٥ - ذروة الجهد العكسى *Peak inverse voltage*

هو أقصى جهد عكسى عابر *(Transient)* يمكن تسليطه على طرفى الديود بدون مخاطر جهد الانهيار .

٦ - جهد الانهيار *Voltage breakdown*

هى القيمة التى تصبح عندها المقاومة العكسية الديناميكية للديود فجأة صغيرة جداً .

٧ - متوسط التيار الموحد *Average rectified current*

هو اقصى متوسط تيار يمكن ان يمر بالديود بدون ان يغير خصائص الديود .

٨ - اقصى تيار موجى *Maximum surge current*

هو اقصى تيار امامى يمكن ان يمر لمدة ثانية واحدة بدون إحداث مخاطر للديود .

٩ - السعوية المتوازية *Shunt capacitance*

هى قيمة السعوية المقاسة بين طرفى الديود عند تردد ٧٥ ميجا هرتز .

١٠ - مدى درجة الحرارة المحيطة *Ambient temperature range*

هى حدود درجة الحرارة التى لاتتغير عندها خصائص الديود بقدر الامكان .

١١ - زمن الاستعادة العكسى *Reverse recovery time* (t_{rr})

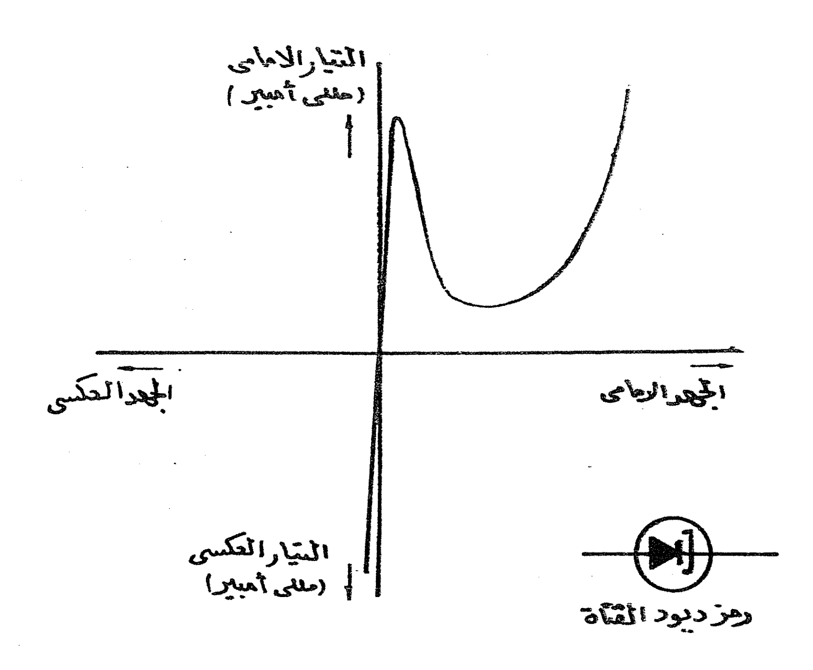
من العلاقة بين التيار الامامى I_F والزمن ، والعلاقة بين التيار العكسى I_R والزمن ، والموضحان بشكلى (٢٠-٣) أ ، ب فان زمن الاستعادة ، العكسى (t_{rr}) يتكون من جزئين :

- الزمن (t_a) وهو ناتج من الشحنة المخزونة فى المنطقة الفاصلة (المنطقة المفرغة من الشحنات الحرة) *(Depletion region)* .

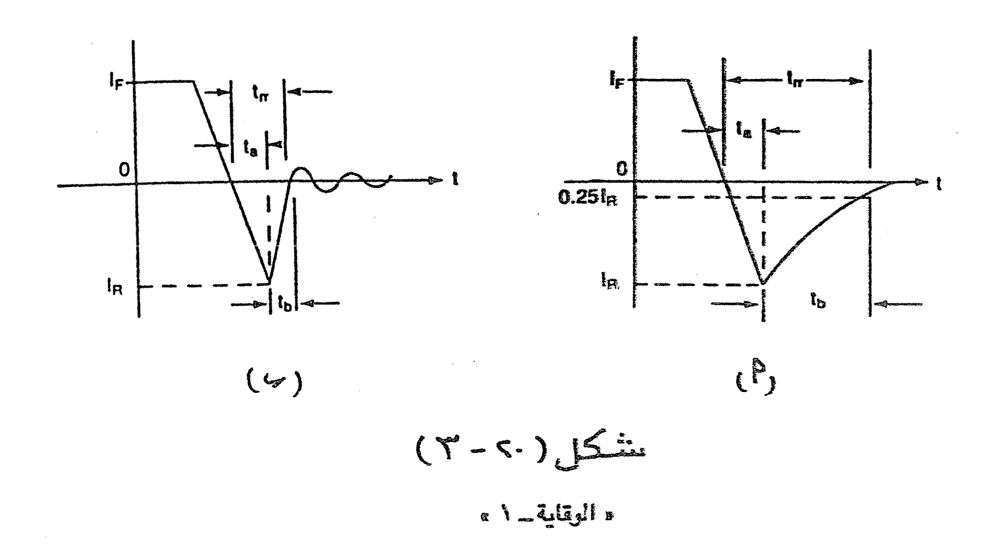
- الزمن (t_b) وهو ناتج من الشحنة المخزونة فى جملة المادة شبه الموصلة *(Bulk semiconductor material)* اى ان :

$$t_{rr} = t_a + t_b$$

وتعرف النسبة $\frac{t_b}{t_a}$ بمعامل النعومة *Softness factor*



شكل (١٩ - ٣)



شكل (٢٠ - ٣)

وتصنف الديودات تبعاً لزمن الاستعادة العكسى كالآتى

- زمن استعادة ناعم *Soft recovery time*

- زمن استعادة مفاجئ *Abrupt recovery time*

يوضح شكل (٢١-٣) ديودات ذات زمن استعادة سريع *Fast recovery time* ٥ ميكروثانية تقريباً ومقنن التيار يتراوح من قيمة اقل من ١ أمبير الى مئات من الامبير ومقنن الجهد يتراوح من ٥٠ فولت وحتى ٣ كيلوفولت بالاضافة الى مجموعة ديودات عادية ويوضح شكل (٢٢-٣) صورة ديودات رصلة ـ ونقطة توصيل .

٣ - الترانزستور *Transistor*

فى حوالى ١٩٤٨ م اكتشف كل من *Shackley, Barden and Bratten* الترانزستور ، وجاءت التسمية اختصاراً للكلمتين "المقاوم الانتقالى" *Transfer resistor*

يوجد الترانزستور بانوع مختلفة منها :

أ - ترانزستور نقطة التوصيل *Point contact transistor*

ب - ترانزستور وصلة نو قطبان *Bipolar junction transistor*

ويرمز له بالرموز *BJT* وهو النوع الاكثر شيوعاً ويطلق على هذا النوع غالباً الترانزستور فقط .

جـ - ترانزستور احادى القطب المتأثر بالمجال *Unipolar field effect transistor* ويرمزله بالرموز *FET* او *UFET* .

ء - ترانزستور احادى الوصلة *Unijunction transistor* ويرمز له بالرموز *UJT*

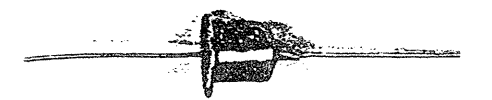
ويتكون الترانزستور من طبقات من مواد شبه موصلة من النوع *P* والنوع *N* بترتيب *N-P-N* او *P-N-P* مع وضع رقائق رصاص لعمل توصيل جيد بين الطبقات ، كأنها اتحاد بين دايودين وصلة *P-N* متصلين عكسياً .

وتصنف الترانزستورات مثل الديودات ، الى النوعية ذى الوصلة *(Junction type)* ونقطة التوصيل *(Point contact)* ، وكانت بداية اختراع الترانزستور من النوع ذى نقطة التوصيل ، مثل الديود ، واصبح نوع الوصلة هو المستخدم حالياً .

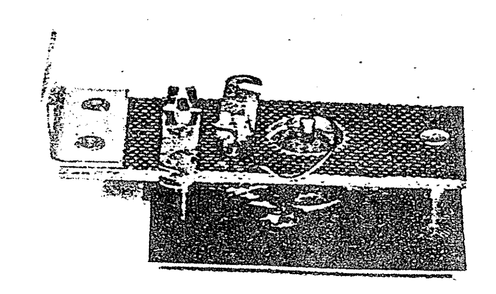
وقد استخدمت الصمامات الثلاثية قبل اكتشا ف الترانزستور ، حيث يتكون الصمام الثلاثى ببساطة من مصعد ومهبط وشبكة وفتيلة ، فعندما تسخن الفتيلة يشع المهبط



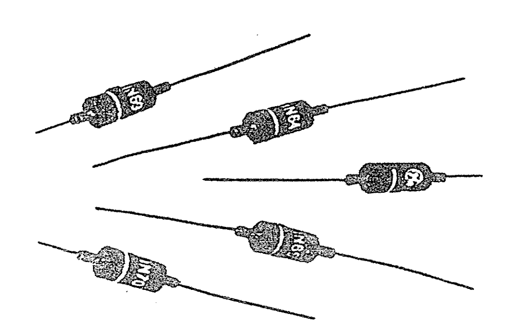
شكل (١-٢-٣)



ديود وصلة



ديود ذو قدرة متوسطة



ديودات نقطة توصيل

شكل (٢٢-٣)

احجام صغيرة .

– لايحتاج الترانزستور الى فتيل تسخين ، كما فى الصمامات .

– يعمل الترانزستور لحظة تسليط مصدر مناسب لتشغيله ، بينما يحتاج الصمام لزمن محدد لتشغيله .

– عمر تشغيل الترانزستور اطول .

– ارخص ثمناً .

– الدوائر المساعدة للترانزستور عبارة عن مقاومات ـ مكثفات ـ ملفات وجميعها ذات قدرات صغيرة واحجام صغيرة .

– عدم قابلية الترانزستور للكسر .

ولكن من عيوب الترانزستور :

[illegible]

– يمكن ان تتغير الخواص بمرور الزمن .

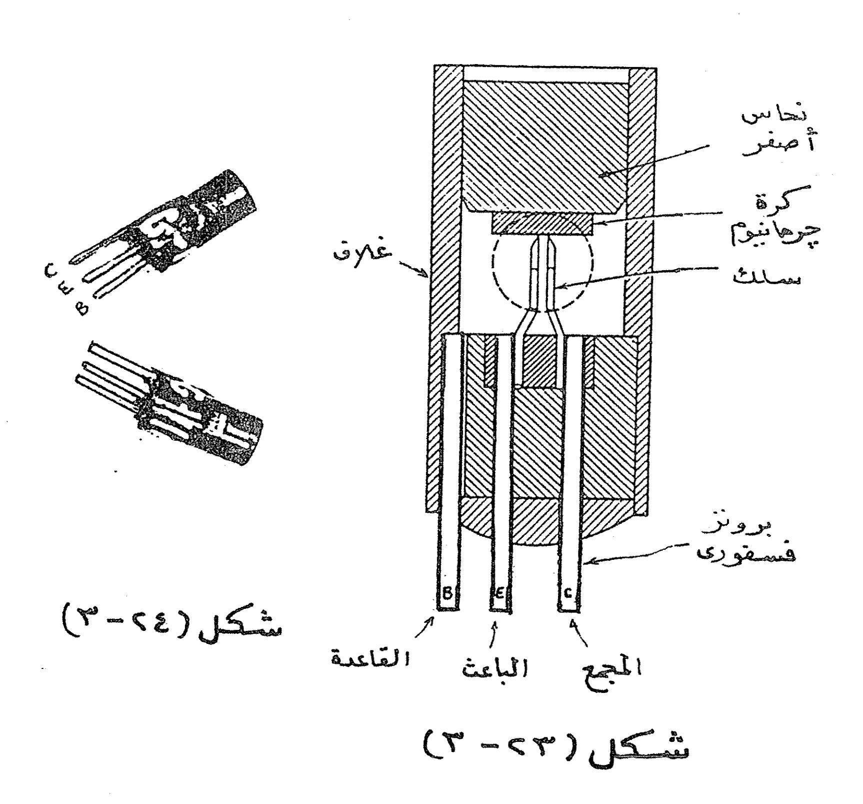
– ذات قدرات صغيرة (اقل من ١٠٠ وات) .

– ارتفاع نسبة الشوشرة .

وفيما يلى توضيح لبعض انواع الترانزستور :

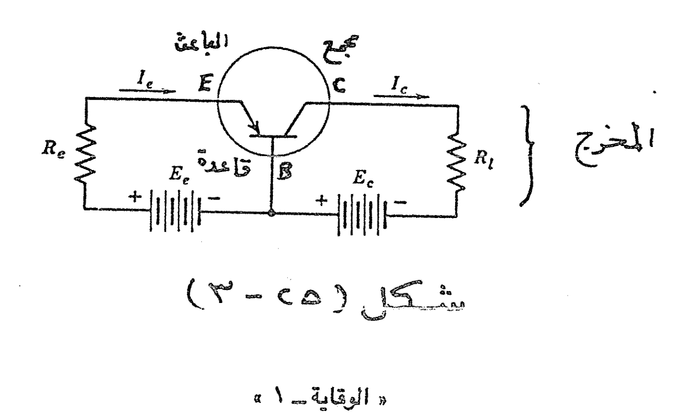
أ - ترانزستور نقطة التوصيل *Point-contact transistor*

يتكون كما فى شكل (٢٣-٣) من كرة من الجرمانيوم *(Germanium pellet)* ملحومة فى سدادة من النحاس الاصفر ـ ونقطتا تلامس مقابلة لكرة الجرمانيوم وسلك *(Whisker)* وهو عبارة عن مادة برونز فسفورى واعتبارة مجمع ، بينما يكون من البلاتين للجزء الخاص بالباعث وتتجمع الاجزاء كلها تحت ضغط وتحكم الغلق للحماية من



شكل (٢٤-٣)

شكل (٢٣- ٣)



شكل (٢٥ - ٣)

الرطوبة ولاحداث استقرار اضافى يتم لحام الباعث مع الجرمانيوم .

يوضح شكل (٢٤-٣) الشكل الطبيعى لترانزستور نقطة توصيل انتاج شركة جنرال الكتريك .

يوضح شكل (٢٥-٣) الدائرة المكافئة لهذا النوع ، والبطارية E_e كمصدر جهد موجب للباعث ، والبطارية E_c كمصدر جهد سالب للمجمع . يمر التيار من الباعث الى المجمع . ويلزم لتشغيل الترانزستور عموماً ، تغذية الباعث بتيار ثابت بينما يغذى المجمع بجهد ثابت وبذلك نحصل على مخرج بين طرفى المقاومة R_L . ويمكن الحصول فى انواع أخرى ، على مخرج بين طرفى المقاومة R_e هذا لو اعتبرنا القاعدة ، فى هذه الحالة ، كمدخل . ويعرف الترانزستور بالخصائص التالية :

- تيار الباعث *Emitter current* ويرمز له I_e
- تيار المجمع *Collector current* ويرمز له I_c
- الجهد بين القاعدة - الباعث *Emitter-base voltage* ويرمز له V_e
- الجهد بين القاعدة-المجمع *Collector-base voltage* ويرمز له V_c

اذا عرفنا اثنان من هذه الخصائص امكن الحصول على الخاصيتين الاخريتين اما بالحسابات او من المنحنيات الخاصة بالترانزستور .

يوضح شكل (٢٦-٣) العلاقة بين I_c , V_c عند قيم مختلفة للتيار I_e

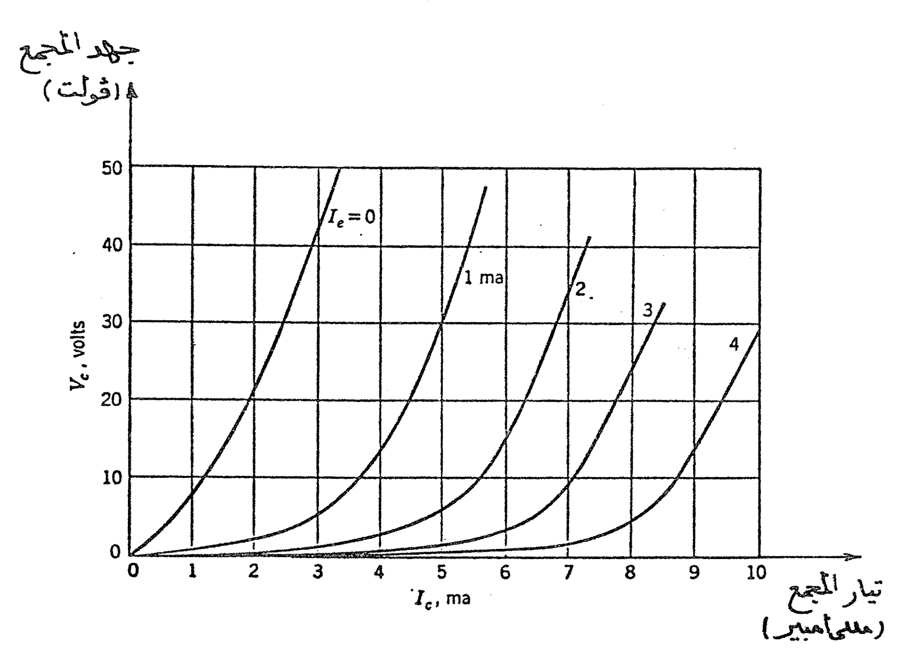
يوضح شكل (٢٧-٣) العلاقة بين I_e , V_e عند قيم مختلفة للتيار I_c

ب - ترانزستور وصلة *Junction transistor*

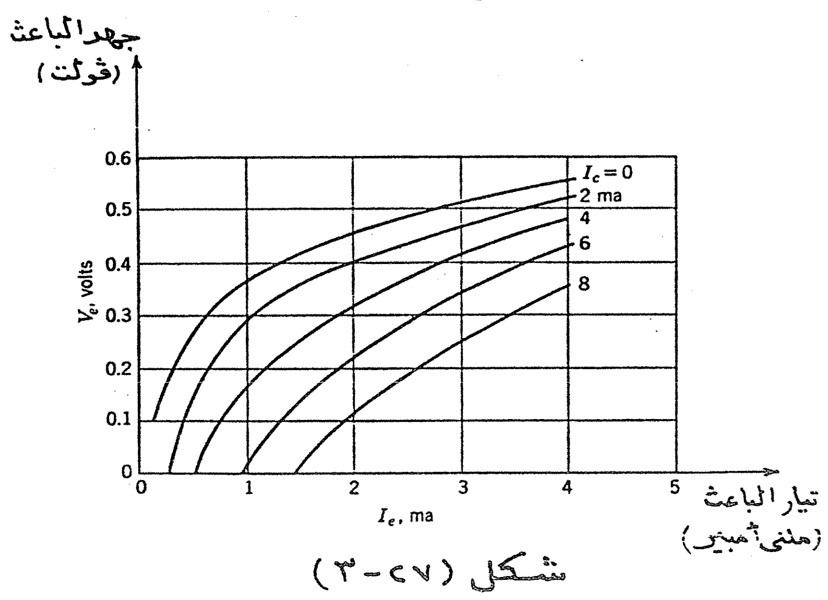
ويتكون من الجرمانيوم وهو عبارة عن ثلاثة طبقات من مواد شبه موصله من النوعين *P,N* كما فى شكل (٢٨-٣) من طراز *PNP* او *NPN* (وتكون مقاومة الطبقات الثلاثة إما متساوية او مختلفة وتكون المنطقة الوسطى رقيقة جداً حوالى ٠,٠٠١ بوصة) .

ويتكون الترانزستور من :

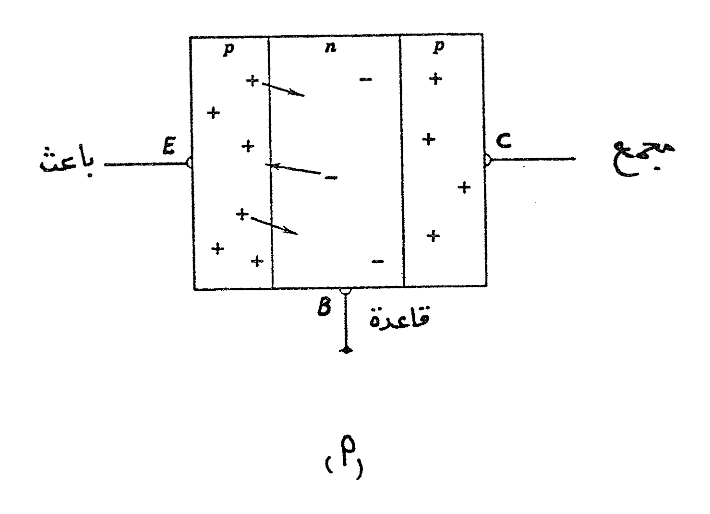
- المجمع *Collector* ويرمز له بالرمز *C* ويعمل على جذب الالكترونات او الفجوات من خلال القاعدة .
- الباعث *Emitter* ويرمز له بالرمز *E* ويعمل على حقن الالكترونات او الفجوات فى اتجاه القاعدة .



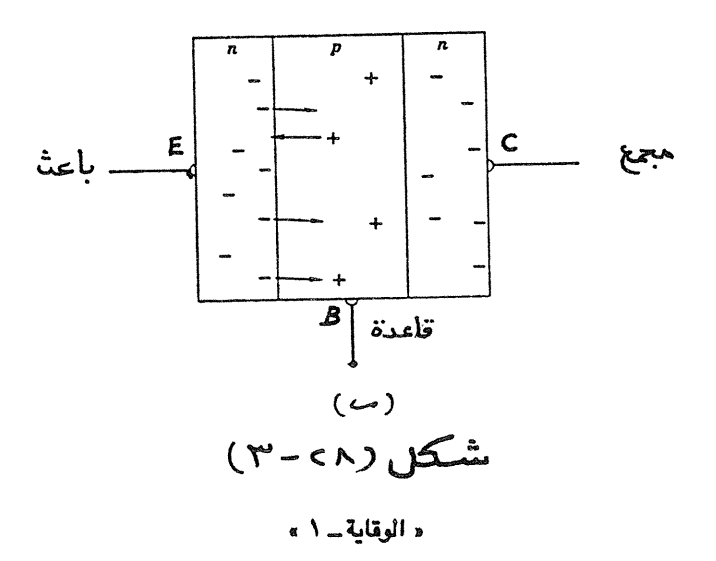
شكل (٢٦ - ٣)



شكل (٢٧ - ٣)



(أ)



(ب)

شكل (٨ - ٣)

- القاعدة *Base* ويرمز لها بالرمز *B* وتعمل على التحكم فى سير الالكترونات او الفجوات المارة من الباعث الى المجمع ويوضح شكل (٢٩-٣) تمثيل لحالتى الوصلتين *PNP* ، *NPN*، ويراعى الآتى لتشغيل الوصلة *PNP* مثلاً ، يتم توصيل عدد ٢ بطارية كحياز *(Bias)* ، جهد موجب للباعث حتى يدفع الفجوات فى أتجاه المجمع ، والذى يتم توصيله بجهد سالب لاستقبال الفجوات الموجبة . بينما توصل الوصلة *NPN* بعكس ذلك . وبأخذ النوع *PNP* فى الاعتبار يمكن تعريف بعض الاصطلاحات الآتية :

١ - كفاءة الباعث *Emitter efficiency* (γ)

تعرف كفاءة الباعث من العلاقة

$$\gamma = \frac{I_{ep}}{I_e} = \frac{I_{ep}}{I_{ep} + I_{en}}$$

حيث :

I_e = تيار الباعث *(Emitter current)* ، والذى يتكون من I_{ep} ، I_{en} .

I_{ep} = تيار الكترونات الاقلية المنتشر من القاعدة .

(Minority electron current diffusing from the base)

I_{en} = تيار فراغات الاكثرية المنتشر الى القاعدة .

(Majority hole current which diffuses to the base)

وحيث ان I_{ep} اكبر كثيراً من I_{en} (للنوع *PNP*) فان كفاءة الباعث تكون عادة ٠,٩٩ .

٢ - عامل تكبير التيار الامامى *Forward-current-amplification factor* (α)

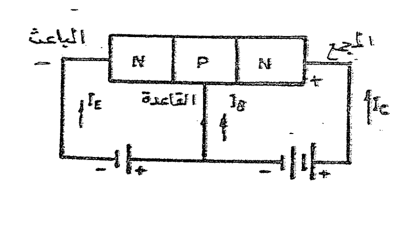
تتحدد العلاقة بين تيار المجمع وتيار الباعث من المعادلة الاتية :

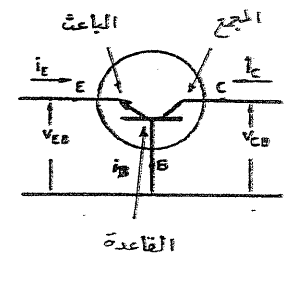
$$I_c = \alpha I_e$$

اى ان

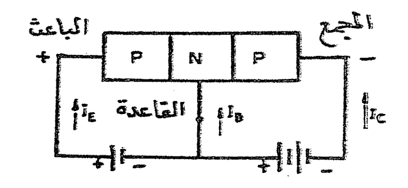
$$\alpha = \frac{I_c}{I_e}$$

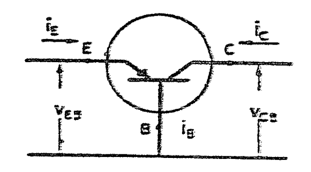
وتتراوح قيمة عامل تكبير التيار الامامى (α) بين ٠,٩٥ الى ٠,٩٨ .


الباعث
N
P
N
المجمع
القاعدة
I_E
I_B
I_C


الباعث
المجمع
i_E
E
C
i_C
V_{EB}
V_{CB}
i_B
B
القاعدة

(أ)


الباعث
P
N
P
المجمع
القاعدة
i_E
I_B
I_C


i_E
E
C
i_C
V_{EB}
V_{CB}
B
i_B

(ب)

شكل (٩ - ٣)

٣- عامل تكبير تيار القاعدة Base-current-amplification factor (β)

العلاقة بين I_e , I_c , I_b هى

$$I_e = I_c + I_b$$

بالتعويض عن $I_e = \dfrac{I_c}{\alpha}$

$$I_c = \frac{\alpha}{1 - \alpha} \quad I_b = \beta I_b$$

وتكون قيمة β اكبر من الواحد الصحيح

ويوضح شكل (٢٩-٣) أ طريقة تمثيل ترانزستور من نوع NPN

ويوضح شكل (٢٩-٣) ب طريقة تمثيل ترانزستور من نوع PNP

طرق توصيل الترانزستور

يتم توصيل الترانزستور فى الدوائر الالكترونية باحدى الطرق الآتية :

١ - دائرة القاعدة المشترك Common base circuit

٢ - دائرة الباعث المشترك Common emitter circuit

٣ - دائرة المجمع المشترك Common collector circuit

توضح الاشكال (٣٠-٣) أ،ب،جـ الدوائر الثلاثة ويلاحظ ان احد اطراف الترانزستور يكون مشتركاً بين طرفى المدخل وطرفى المخرج .

وتعتبر دائرة الباعث من اكثر الدوائر شيوعاً نظراً لاستخدامها فى تكبير كل من الجهد والتيار وبالتالى القدرة . من شكل (٣٠-٣) ب نجد ان خصائص الدائرة تتمثل فى تيار المدخل I_B ، جهد المدخل V_{BE} ، تيار المخرج I_C، جهد المخرج V_{CE} ويعبر عن خواص الترانزستور بالعلاقات الآتية :

أ - العلاقة بين I_B , V_{BE} عندما تكون قيمة V_{CE} ثابتة بالتالى I_C ثابتة كما فى شكل (٣١-٣) ومن هذه العلاقة يمكن ايجاد مقاومة المدخل كالآتى :

$$R_i = \frac{V_{BE}}{I_B}$$ (عندما تكون قيمة V_{CE} ثابتة)

وتكون قيمة مقاومة المدخل من ٢٠٠ اوم الى ٢ كيلو اوم تقريباً

ب - العلاقة بين V_{CE} , I_c ، عندما تكون قيمة I_B ثابتة وبالتالى V_{BE} ثابتة كما فى الشكل (٣٢-٣) ومن هذه العلاقة يمكن ايجاد مقاومة المخرج كالآتى :

$$R_O = \frac{V_{CE}}{I_C}$$ (عندما تكون قيمة I_B ثابتة)

وتكون قيمة مقاومة المخرج بين ٥ كيلو اوم الى ١٠٠ كيلو اوم تقريباً (هذه المقاومة تعتبر كبيرة جداً بالنسبة لمقاومة المدخل ومن هنا جاءت تسمية الترانزستور بأنه "المقاوم الانتقالى" *(Transfer resistor)* .

جـ - العلاقة بين I_C , I_B عندما تكون قيمة V_{CE} ثابتة ، كما فى شكل (٣٣-٣) ومن هذه العلاقة نحصل على عامل تكبير التيار β كالآتى :

$$\beta = \frac{I_C}{I_B}$$ (عندما تكون قيمة V_{CE} ثابتة)

وتكون قيمة β اكبر من الواحد الصحيح ، وتتراوح بين ٥ الى ٢٠٠

ء - العلاقة بين V_{BE}, V_{CE} عندما تكون قيمة I_B ثابتة وتحصل على كسب الجهد والذى يرمز له بالرموز A_v كالآتى :

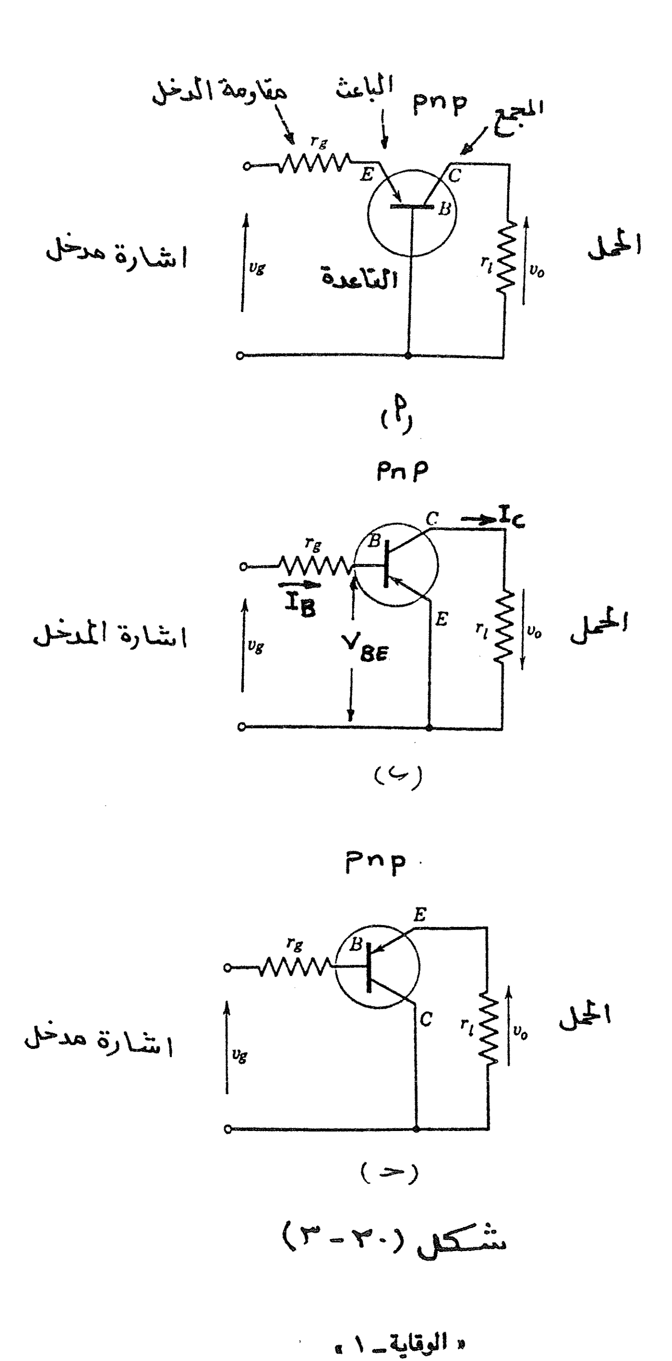
$$A_v = \frac{V_{CE}}{V_{BE}}$$ (عندما تكون قيمة I_B ثابتة)

وقد تتراوح قيمتة بين ٥٠ إلى ١٠٠ لبعض انواع الترانزستور

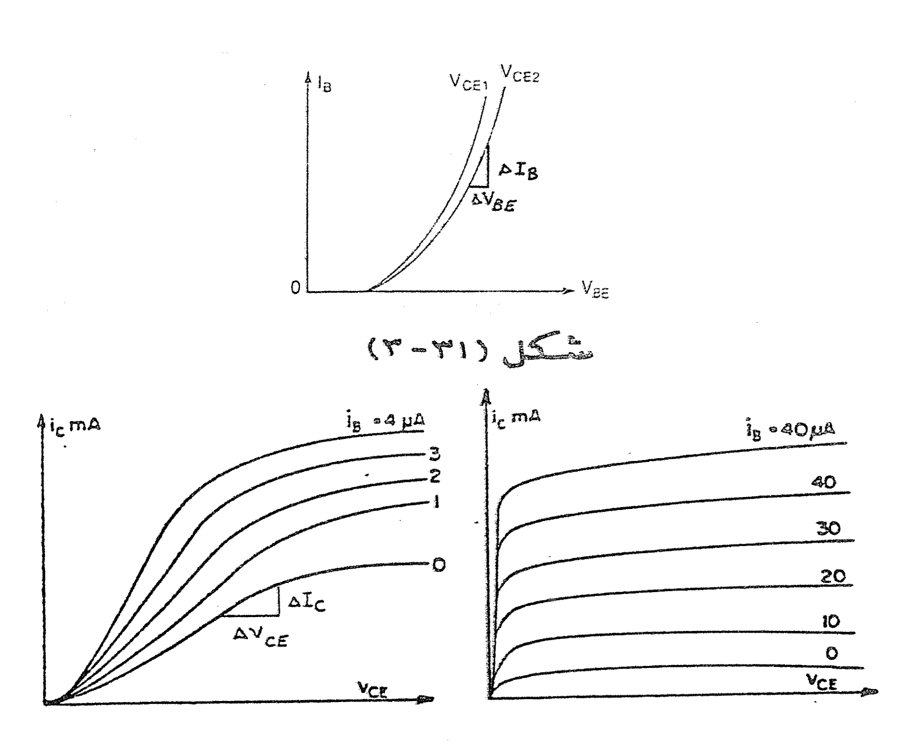
الدائرة المكافئة للترانزستور

يمثل شكل (٣٤-٣) أ الدائرة المكافئة للترانزستور حيث :-

r_c مقاومة المجمع

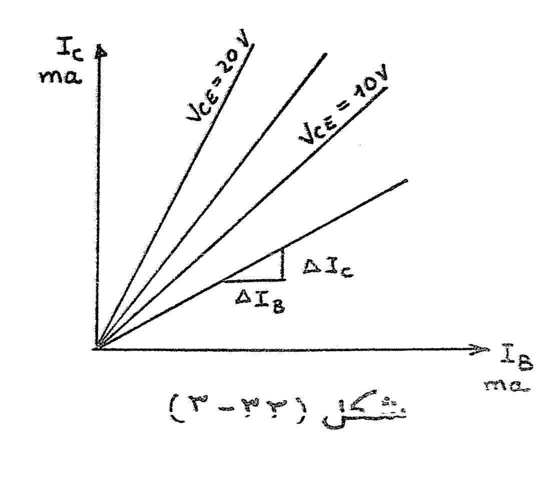

مقاومة الدخل
الباعث
pnp
المجمع
r_g
E
C
B
اشارة مدخل
v_g
القاعدة
r_l
v_o
الحمل
(أ)
pnp
C
I_C
r_g
B
I_B
E
اشارة المدخل
v_g
V_{BE}
r_l
v_o
الحمل
(ب)
pnp
E
r_g
B
C
r_l
v_o
الحمل
اشارة مدخل
v_g
(حـ)

شكل (٣٠ - ٣)



شكل (٣١-٣)

شكل (٣٢-٣)



شكل (٣٣-٣)

r_b مقاومة القاعدة

r_e مقاومة الباعث

ويلاحظ اضافة مصدر جهد مع مقاومة المجمع ، r_c ، ذلك لان $I_c = \alpha I_e$ اى ان جزء من تيار الباعث يمر فى المقاومة r_c ويكون قيمة جهد هذا المصدر هو $I_c r_c$ ويساوى $\propto I_e r_c$

ويمكن تمثيل دائرة اى نوع من انواع الترانزستور بالشكل (٣٤-٣) ب وذلك لامكانية دراسة خصائص كل نوع . ويمكن تعريف خصائص الترانزستور كالآتى :

$$\text{كسب التيار} = A_i = \frac{I_o}{I_i} \; .$$

$$\text{كسب الجهد} = A_v = \frac{V_o}{V_i} \; .$$

$$\text{كسب القدرة} = G = A_i \, . \, A_v = \frac{P_o}{P_i} \; .$$

$$\text{مقاومة المدخل} = R_{in} = \frac{V_s}{I_i} \; .$$

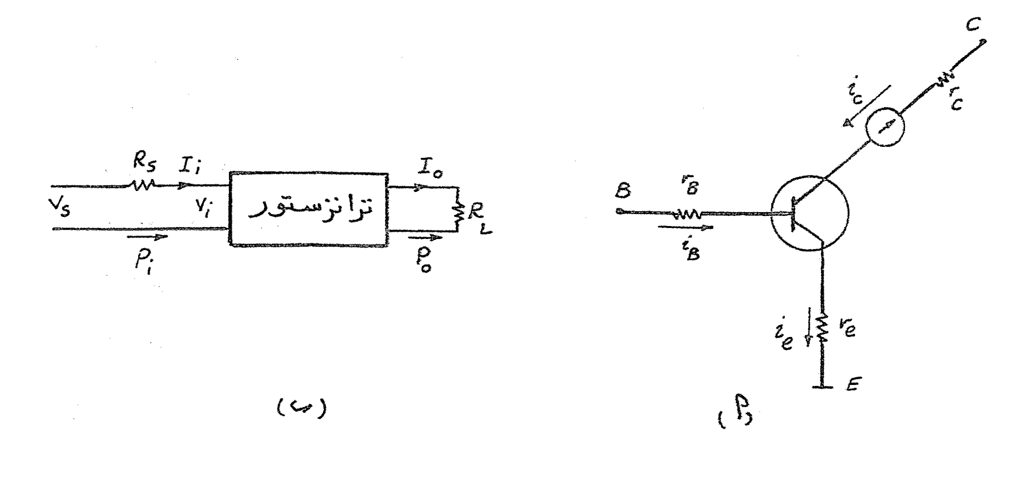
قبل عمل مقارنة بين خصائص الترانزستور يجب ملاحظة اختلاف طرق التوصيل بين ترانزستور NPN , PNP من حيث خصائص المخرج والموضحة فى شكل (٣٥-٣) وفيما يلى مقارنة بين الخصائص ، تبعاً لشكل (٣٦-٣) كالآتى :

- كسب التيار A_i *(Current gain)* حيث يوضح شكل (٣٦-٣) أ أن كسب التيار لكل من دائرة الباعث المشترك ودائره المجمع المشترك يكونان متساويان فى القيمة ويكونان اكبر من كسب التيار لدائرة القاعدة المشترك .

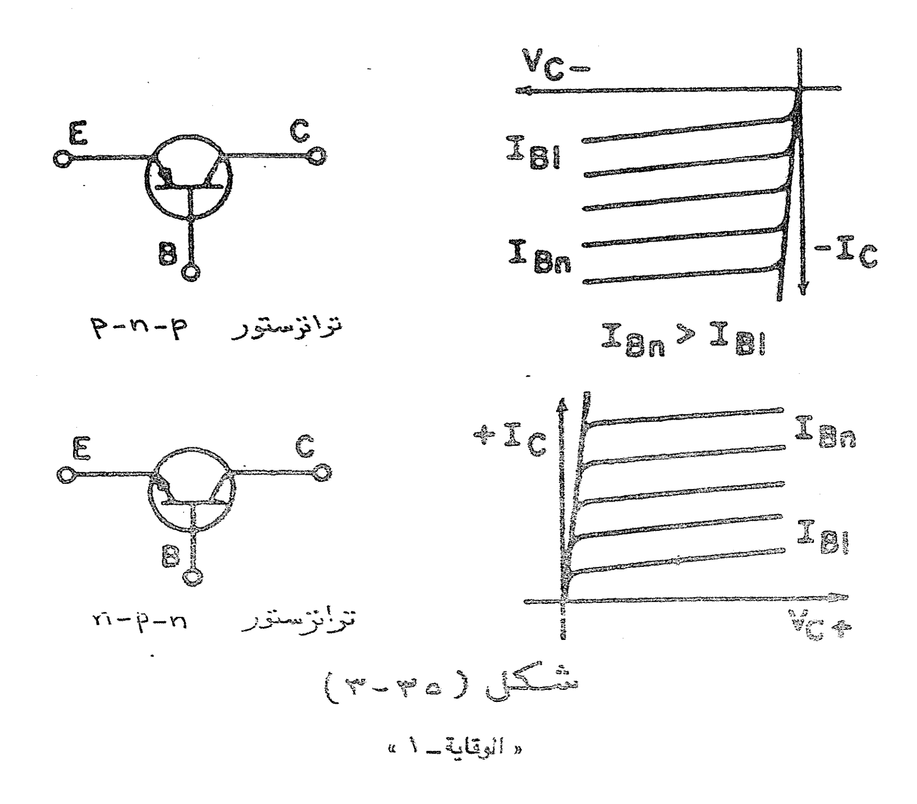
- كسب الجهد A_v *(Voltage gain)* ، ويلاحظ فى شكل (٣٦-٣) ب بأن كسب الجهد لكل من دائرة القاعدة المشترك ودائرة الباعث المشترك يكونان متساويان فى القيمة .

- مقاومة المدخل ومقاومة المخرج بدلالة مقاومة الحمل كما فى شكل (٣٦-٣) جـ

- كسب القدرة G *(Power gain)* حيث يوضح شكل (٣٦-٣) ء ان كسب القدره



شكل (٣٤-٣)



شكل (٣٥-٣)

لدائرة باعث مشترك تكون اكبر من كسب القدرة لاى من دائرة قاعدة مشترك او دائرة مجمع مشترك .

انواع ترانزستور الوصلة *Types of junction transistor*

توجد انوع مختلفة من حيث التركيب أهمها كما يلى :

١ - نوع وصلة نمو *Grown junction type*

كما فى شكل (٣٧-٣) وهو من النوع *NPN*

٢ - نوع وصلة سبيكة *Alloy junction type*

يوضح شكل (٣٨-٣) أ ، ب مكونات انتاجين مختلفين من النوع *PNP* حيث يصنع من معدن منصهر يحتوى على كمية كبيرة من شوائب من النوع *P* توضع فى مادة شبه موصلة من النوع *N* ، والتى تكون على شكل رقائق ، ثم تعاد بللورته مع شوائب من النوع *P* عند تبريد الرقائق .

٣ - نوع وصلة انتشار *Diffused junction type*

توضح الاشكال (٣٩-٣) أ،ب،جـ مكونات منتجات مختلفة من النوعين *NPN, PNP* .

دوائر تغذية الترانزستور

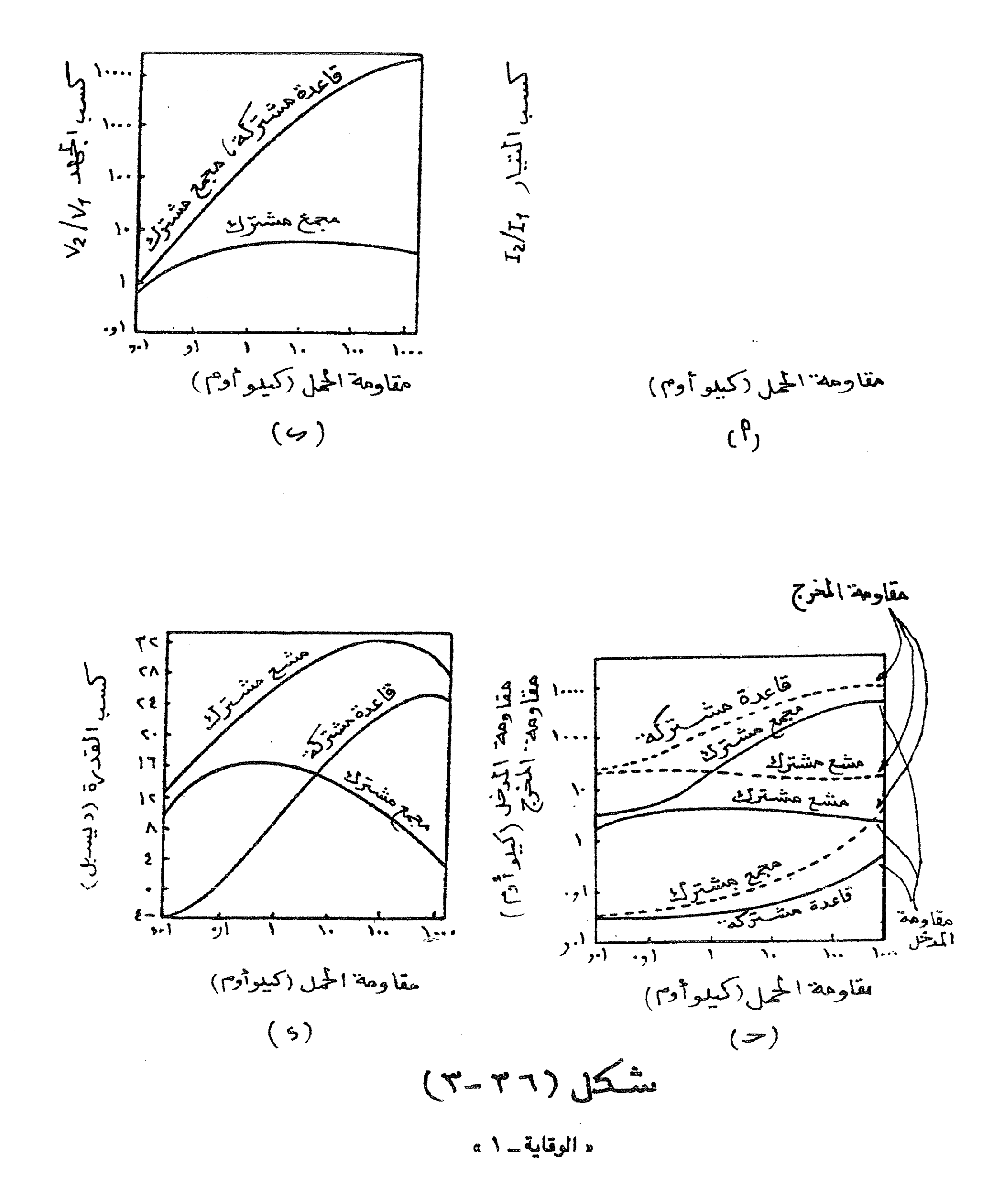
لتشغيل الترانزستور يسلط على اطرافه جهد مستمر مناسب كالآتى :

- جهد حياز امامى بين الباعث والقاعدة V_{BE} يتراوح بين ٠,٢ الى ٠,٨ ڤولت

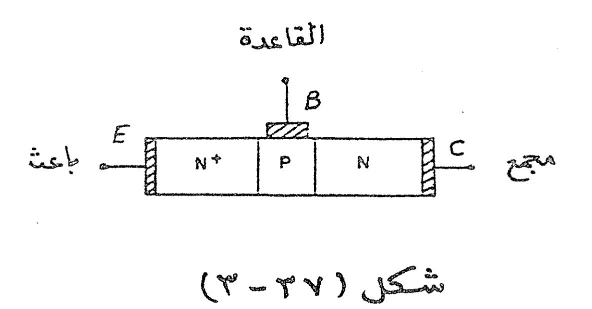
- جهد حياز خلفى بين الباعث والمجمع V_{CE} يتراوح بين ٢ الى ٥ ڤولت.

وتوجد دوائر متعددة لتغذية الترانزستور ، ولكن قبل التعرض لهذه الدوائر يجب تعريف نقطة تشغيل الترانزستور .

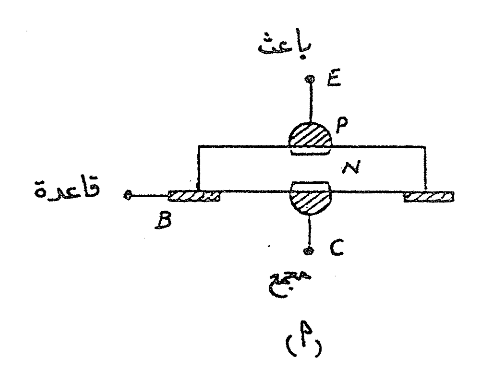
عند توصيل حمل R_L على مخرج الترانزستور ، كما فى شكل (٤٠-٣) وبرسم العلاقة بين I_c . V_{CE} عندما تكون قيمة I_B ثابتة (وهى ماتعرف بخواص المخرج) نحصل على المنحنيات الموضحة بالشكل (٤٠-٣) أ ويخضع جهد المخرج فى وجود الحمل R_L للعلاقة :


كسب الجهد V_2/V_1
قاعدة مشتركة، مجمع مشترك
مجمع مشترك
مقاومة الحمل (كيلو أوم)
(ب)
كسب التيار I_2/I_1
مقاومة الحمل (كيلو أوم)
(أ)
كسب القدرة (ديسبل)
مشع مشترك
قاعدة مشتركة
مجمع مشترك
مقاومة الحمل (كيلو أوم)
(د)
مقاومة المخرج
مقاومة المدخل (كيلو أوم)
مقاومة المخرج
قاعدة مشتركة
مجمع مشترك
مشع مشترك
مشع مشترك
مجمع مشترك
قاعدة مشتركة
مقاومة المدخل
مقاومة الحمل (كيلو أوم)
(حـ)

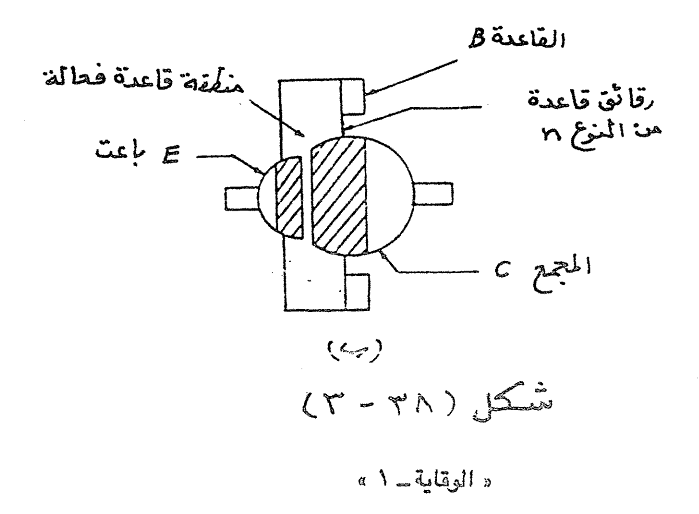
شكل (٣٦-٣)



شكل (٣٧ - ٣)

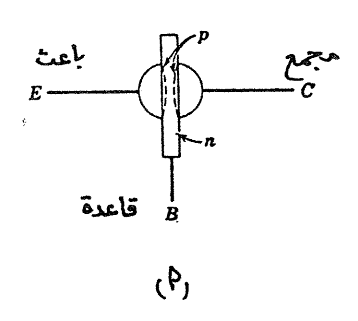


(أ)

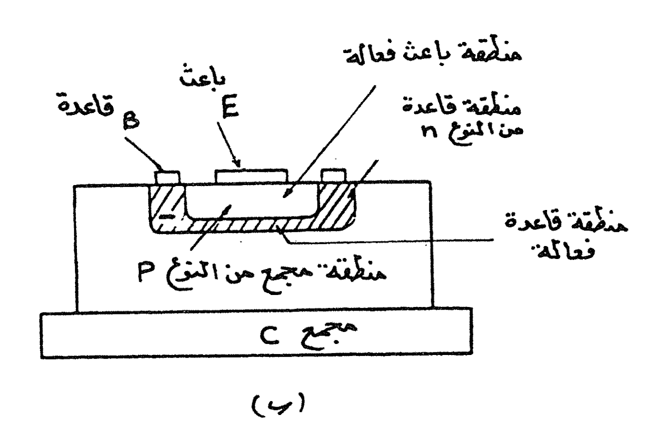


(ب)

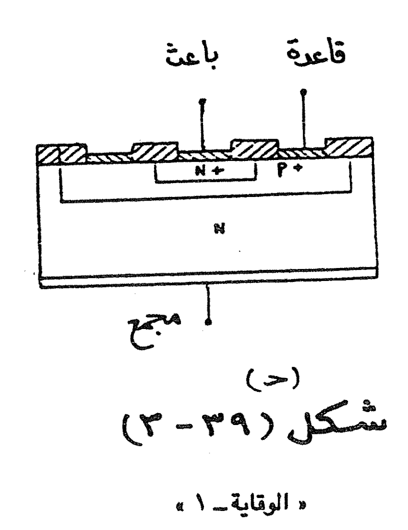
شكل (٣٨ - ٣)


باعث
E
مجمع
C
p
n
قاعدة
B

(أ)


منطقة باعث فعالة
باعث
E
قاعدة
B
منطقة قاعدة من النوع n
منطقة قاعدة فعالة
منطقة مجمع من النوع P
مجمع C

(ب)


باعث
قاعدة
N+
P+
N
مجمع

(حـ)

شكل (٣٩ - ٣)

$$V_{CE} = V_{CC} - I_C R_l$$

وهى معادلة خطية تقطع منحنيات خواص المخرج فى النقطة q كما فى شكل (٤٠-٣)أ وتعرف هذه النقطة بنقطة التشغيل *(Operating point)* ، والتى يجب ان تقع فى المنطقة الخطية لمنحنيات خواص المخرج حتى يمكن الحصول على موجه جهد V_{CE} بدون اى تشوهات (توافقيات) .

وفيما يلى بعض انواع الدوائر الشائعة المستخدمة لتغذية الترانزستور:

١- حياز مستقر باستخدام دائرة الباعث المشترك *Bias stabilization common-emitter* هذه الطريقة هى اكثر الطرق شيوعاً والموضحة فى شكل (٤١-٣)أ ، حيث يتم استخدام المقاومتين R_2 , R_3 كمجزئ جهد للقاعدة بحيث يمر تيار مستمر كبير I_2 خلال المقاومة R_2 بالمقارنة بالتيار المستمر I_B (مسبباً عدم اعتماد جهد القاعدة / الارض على التيار I_B) .

$$I_3 = I_B + I_2$$

$$I_2 \cong \frac{R_1}{R_2} I_E$$

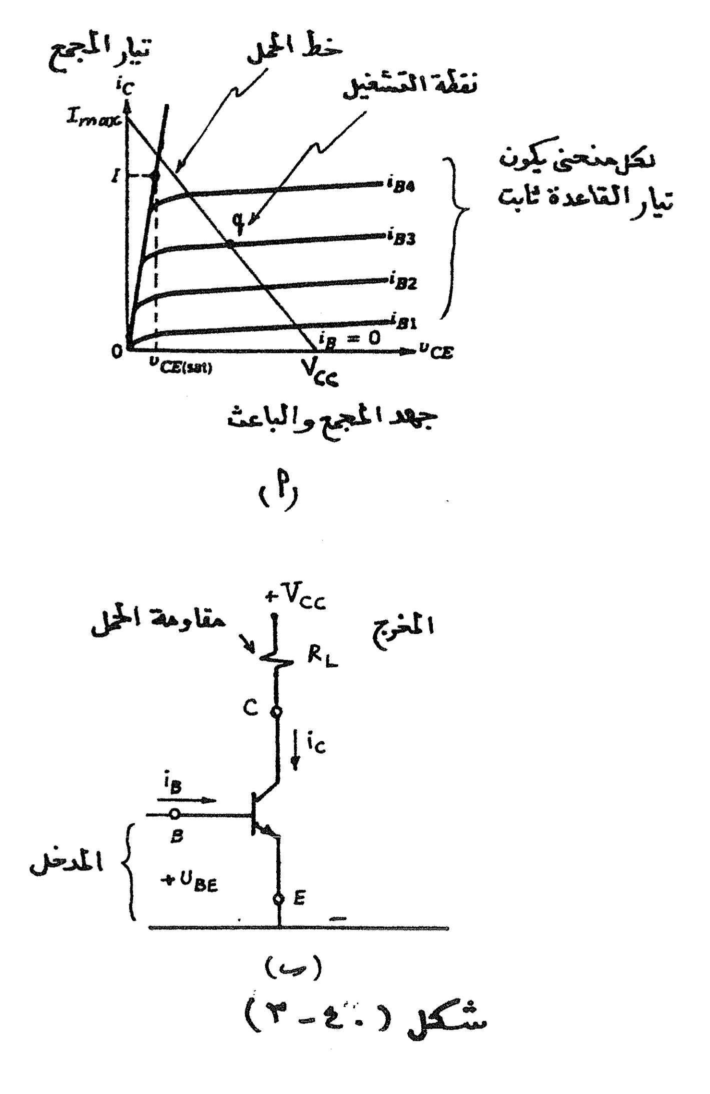
وبحذف مقاومة المجمع R_C كما فى شكل (٤١-٣) ب نحصل على حالة حياز مستقر باعث تابع *Bias stabilization emitter follower* بينما اذا كانت مقاومة المدخل كبيرة فانه يمكن استخدام التوصيل كما فى شكل (٤١-٣) جـ وفيها نجد عدم وجود تأثير للمكثف C_3 على حالة *(d.c)* .

٢ - الحياز الثابت *Fixed bias*

يوضح شكل (٤٢-٣) هذا النوع حيث استخدمت دائرة باعث مشترك ، وفيها لايعتمد تيار القاعدة I_B على تيار المجمع I_C اى لايوجد حياز مستقر .

٣ - طريقة التيار الخلفى *Current feed back method*

يمكن الحصول على تيار حياز القاعدة ، I_B عن طريق توصيل مقاومة بين المجمع والقاعدة كما فى شكل (٤٣-٣) ، ويسمى احياناً حياز ذاتى *(Self-bias)* لان الحياز يتم


تيار المجمع
خط الحمل
نقطة التشغيل
i_C
I_{max}
I
i_{B4}
i_{B3}
i_{B2}
i_{B1}
$i_B = 0$
v_{CE}
$v_{CE(sat)}$
V_{CC}
0
q
لكل منحنى يكون تيار القاعدة ثابت
جهد المجمع والباعث
(أ)
$+V_{CC}$
مقاومة الحمل
المخرج
R_L
C
i_C
i_B
B
E
المدخل
$+v_{BE}$
(ب)

شكل (٤٠ - ٣)

عن طريق جهد المجمع V_C ونحصل على تيار القاعدة $(d.c)$ من العلاقة :

$$I_B = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_F}$$

وحيث ان V_{BE} صغير جداً مقارنة بجهد المصدر V_{CC} فان

$$I_B \simeq \frac{V_{CC}}{R_F}$$

٤ - تعويض حياز الباعث *Emitter bias compensation*

يوضح شكل (٤٤-٣) دائرة تعويض حياز الباعث . فعند درجات الحرارة العالية ترتفع قيمة التيار I_{CBO} (وهو تيار التشبع العكسى لوصلة قاعدة مجمع *Collector base junction reverse saturation current* والتى بدورها تؤدى الى ارتفاع قيمة تيارالمجمع Ic وبالتالى ارتفاع قيمة تيار الباعث I_E ايضاً ، وتسبب زيادة فى هبوط الجهد *(Potential drop)* خلال المقاومة R_e اى تنخفض قيمة I_B .

٥ - دايود التعويض *Diode compensation*

يمكن استخدام د يود مع ترانزستور من نفس النوع والمادة . كما فى شكل (٤٥-٣)أ ، حيث يرتفع تيار تشبع الديود مع درجة الحرارة عند نفس معدل تيار تشبع مجمع الترانزستور

$$I = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_1} \simeq \frac{V_{CC}}{R_1}$$

ونحصل على تيار القاعدة I_B من العلاقة :

$$I_B = I - I_O$$

يمكن تثبيت تيار المجمع I_c عن طريق التحكم فى التيارت I ، I_O ، I_{CBO}

وللحصول على حياز مستقر يتم استخدام زينر ديود *(Zener diode)* كما فى شكل (٤٥-٣) ب ، وتعمل المقاومة R_2 على تغذية القاعدة بالتيار I_B بالاضافة الى احداث تيار

يكفى لحياز الديور بمنطقة الزينر ، وحيث ان قيمة الجهد V_2 ثابتة ، فان تيار القاعدة يكون تقريباً مساوياً V_2 / R_E .

٦- التعويض خلال ثرمستور *Compensation through thermistor*

الثرمستور عبارة عن عنصر ذى حساسية لدرجات الحرارة ، اى مقاومة ذات معامل حرارى سالب كبير ، يتم توصيله كما فى شكل (٤٦-٣) ، ويعمل على تقليل الزيادة فى تيار المجمع نتيجة التغيير فى V_{BE} ، I_{CBO} مع درجة الحرارة . فعند ارتفاع درجة الحرارة تنخفض قيمة المقاومة R_T ، بينما ترتفع قيمة التيار المار بكل من R_e ، R_T علماً بان زيادة هبوط الجهد خلال R_e يقلل الحياز الامامى المؤثر وعلى ذلك يعوض زيادة تيار الثرمستور .

يمكن توصيل المقاومة R_T على التوازى مع المقاومة R_2 للحصول على نفس التأثير كذلك يمكن استخدام مقاومة ذات معامل حرارى موجب على التوازى مع المقاومة R_1 او المقاومة R_4 لاحداث التعويض .

جـ- الترانزستور المتأثر بالمجال *Field effect transistor (FET)*

يعتبر الترانزستور اما وحدة تحكم فى التيار او فى الجهد ، وقد اتضح مما سبق ان ترانزستور الوصلة عبارة عن وحدة تحكم فى التيار وذلك لاحتياجه لتيار القاعدة لمرور التيار فى المجمع . وفيما يلى نوضح انواع الترانزستور المتأثر بالمجال والذى يعتبر وحدة تحكم فى الجهد ويحتاج الى تيار مدخل صغير جداً :

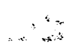
- ١ - الترانزستور المتأثر بالمجال من النوع ذى الوصلة *Junction type FET*

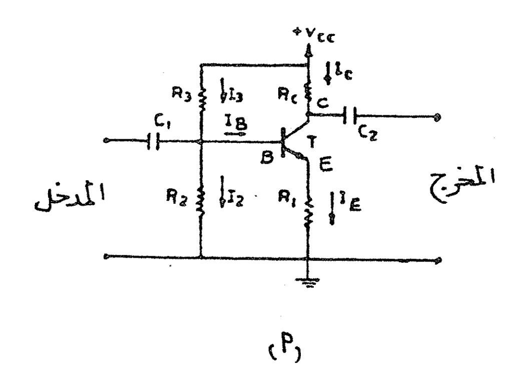
ويتكون من :

- قضيب مستطيل (يسمى قناة *Channel*) مصنوع من معجون خفيف من مواد شبه موصلة من النوع *N* .

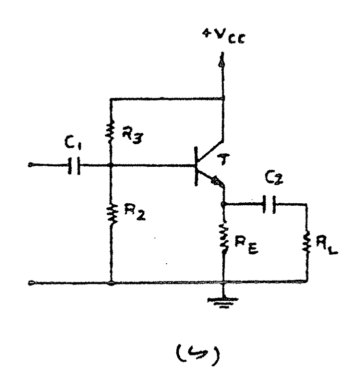
- منطقتان صغيرتان من معجون ثقيل تحيط بالقضيب ، احدهما تعرف بالاستنزاف *(Drain)* ويرمز لها بالرمز *(D)* ، والاخرى تعرف بالمصدر *(Source)* ويرمز لها بالرمز *(S)*

- تضاف مادة من النوع *P* وتستخدم كبوابة *(Gate)* ويرمز لها بالرمز *G*

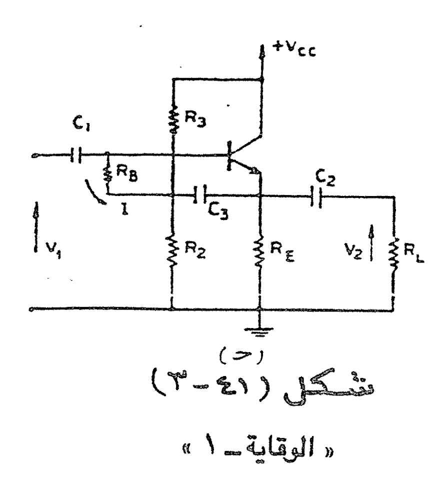




(أ)



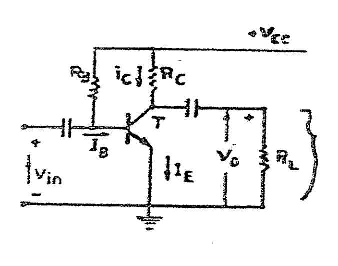
(ب)



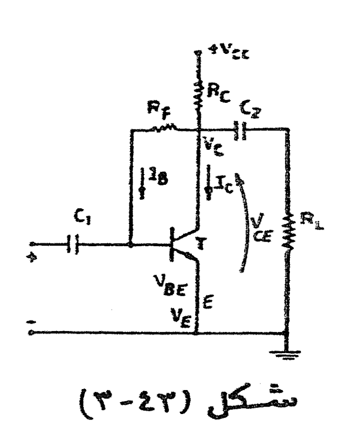
(حـ)

شكل (٤١-٣)

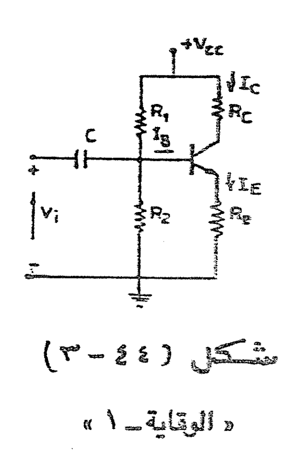
« الوقاية ـ ١ »



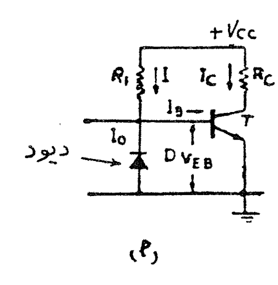
شكل (٤٢ - ٣)



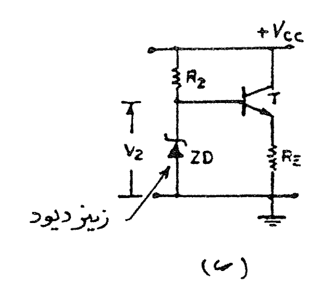
شكل (٤٣ - ٣)



شكل (٤٤ - ٣)

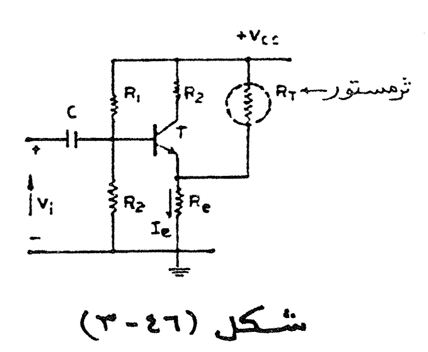


(أ)



(ب)

شكل (٤٥-٣)



شكل (٤٦-٣)

يوضح شكل (٤٧-٣) مكونات ترانزستور *(JFET)* وطريقة توصيلة ، حيث يتم تسليط جهد حياز سالب على البوابة G ، بالنسبة للطرف S ، ويمر تيار الاستنزاف I_D نتيجة الجهد V_{DS} بينما يوضح شكل (٤٧-٣) ء منحنى الخواص للترانزستور .

٢ - الترانزستور المتأثر بالمجال من النوع ذي البوابة المعزولة *Insulated gate type FET*

يحتوى هذا النوع على رقائق من معدن مؤكسد تفصل بين البوابة والقناة وتغلف البوابة بطبقة رقيقة من معدن (السيليكون مثلاً) ولايكون لها اتصال كهربى مباشر مع منطقة المصدر ـ الاستنزاف وبذلك يمكن تسليط جهد موجب او سالب على البوابة وهذا النوع يطلق عليه الترانزستور المتأثـر بالمجـال ذى معدن مؤكسد من مواد شبه موصلة *(Metal oxide semiconductor FET)* ويرمز له بالرموز *MOSFET* .

ويوجد نوعان من الترانزستور *MOSFET* هما :

أ - الترانزستور *MOSFET* نوالمنطقة القاحلة *Depletion-type MOSFET*

- يوضح شكل (٤٨-٣) مكونات هذا النوع والدائرة المكافئة فى حالة قناة من النوع N ، بينما يوضح شكل (٤٩-٣) مكونات نفس نوع الترانزستور ولكن القناة من النوع P وخصائص كل منهما .

ب - الترانزستور *MOSFET* من النوع المحسن *Enhancement type MOSFET*

يوضح شكل (٥٠-٣) مكونات هذا النوع والدائرة المكافئة فى حالة قناة من النوع N بينما يوضح شكل (٥١-٣) المكونات فى حالة القناة من النوع P وخصائص كل منهما ويلاحظ ان الطبقة الاولية *(Substrate)* والممثلة للجزء الاكبر من الترانزستور ، تكون موصلة مباشرة مع طرف المصدر S .

وعند تسليط اشارة جهد بين المصدر والبوابة ينتج جهد بين المصدر والاستنزاف، ويكون معامل تكبير الجهد A_V مساوياً .

$$A_V = \frac{\Delta V_{DS}}{\Delta V_{GS}}$$

ويمكن اضافة مقاومة فى فرع المصدر للحصول على استقرار حرارى .

ويعرف الجهد V_p بأنه الجهد الذى يحقق العلاقة :

$$V_p = |V_{GS}| + V_{DS}$$

وعنده يحدث تضييق او غلق ، *Pinch - off* كما يحدث تغيير كبير جداً فى الجهد يصحبه تغيير صغير فى التيار بينما يعرف I_{DSS} بأنه أقصى تيار (تشبع) من الاستنزاف الى المصدر عند وصول الجهد V_{GS} للصفر ، لاحظ منحنيات خصائص المخرج بشكل(٥٢-٣) .

ويوضح شكل (٥٣-٣) مجموعة من ترانزستور *MOSFET* .

ء - الترانزستور احادى الوصلة *Unjunction transistor*

يرمز لهذا النوع بالرموز *(UJT)* ويشبه فى تركيبه الترانزستور *JFET* ، ويتكون الترانزستور احادى الوصلة من :

أ - قضيب من السيليكون (النوع *N*) له مقاومية عالية ويسمى القاعدة *(Base)* وطرفى القاعدة ذات مقاومة اتصال *(Ohmic contact)* احدهما يعرف بالقاعدة رقم ١ ويرمز لها بالرمز B_1 ، والاخر يعرف بالقاعدة رقم ٢ ، ويرمز له بالرمز B_2 (لذلك كان يطلق على هذا النوع بالديود ذى القاعدتين *(Double-base diode)* .

- يضاف النوع *P* بمنطقة الوسط للقضيب، ويشكل فوق هذه المنطقة خليط من اسلاك الالومنيوم لتكوين الباعث *(Emitter)* .

ويوضح شكل (٥٤-٣) أ مكونات ترانزستور *UJT* من النوع *(N)* ، بينما يوضح شكل (٥٤-٣) ب التمثيل الفيزيائى وهو يحتوى على ثلاثة اطراف B_2 , B_1 , E .

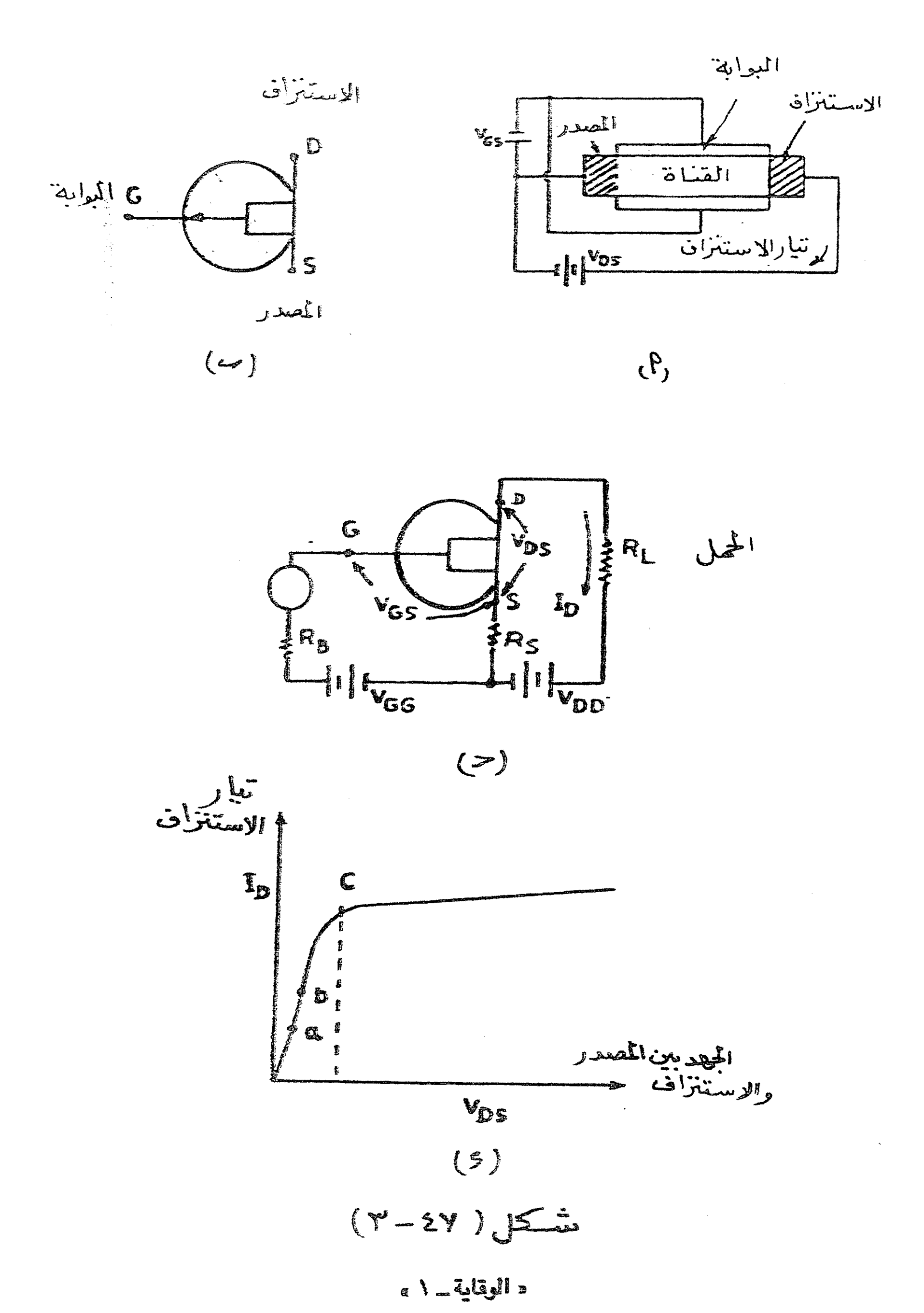
ويوضح شكل (٥٤-٣) جـ التمثيل الكهربائى لهذا النوع .

كما يوضح شكل (٥٤-٣) ء تمثيل ترانزستور احادى الوصلة ولكن القاعدة من النوع *(P)* ، والباعث من النوع *(N)* ويطلق على هذا النوع ترانزستور اتمامى احادى الوصلة *(Complementary unjunction transistor)* ويرمز له بالرموز *CUJT*

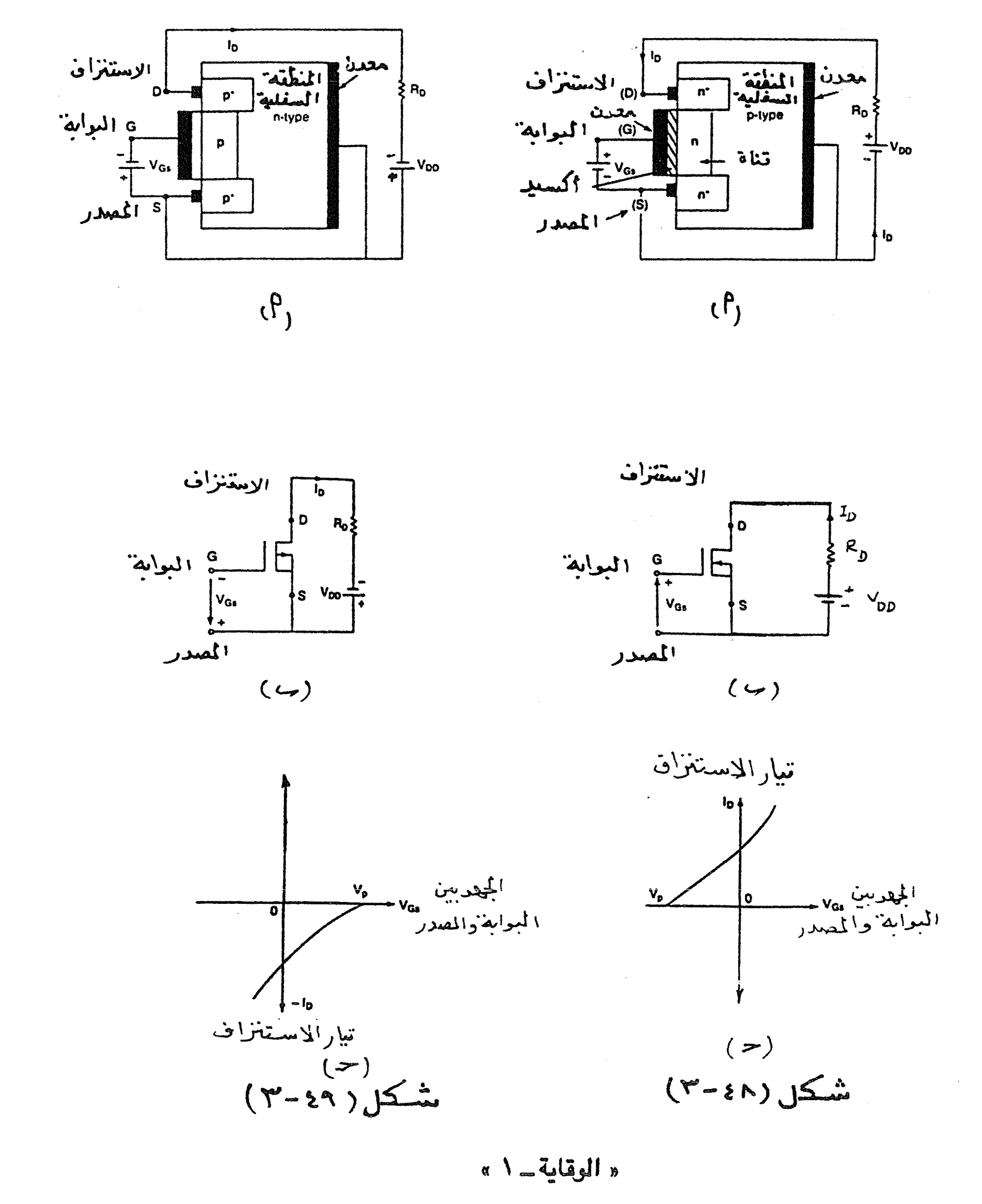
وفيما يلى مقارنة بين نوعى الترانزستور *JFET , UJT* :

١ - منطقة وصلة الباعث فى *UJT* صغيـرة جـداً بالمقارنة بمنطقة وصلة البوابة فى *JFET* .

٢ - تكون وصلة الباعث فى *UJT* ذات حياز امامى خلال التشغيل ، بينما تكون

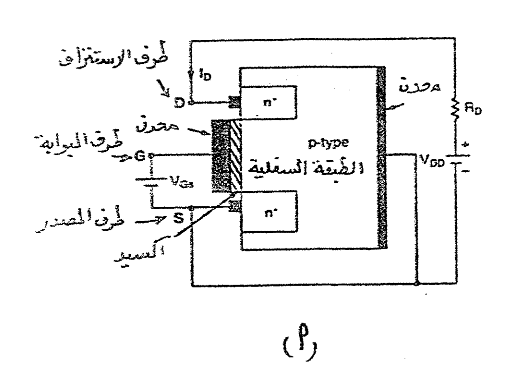

البوابة
الاستنزاف
المصدر
القناة
V_{GS}
V_{DS}
تيار الاستنزاف
(أ)
الاستنزاف
D
G البوابة
S
المصدر
(ب)
G
D
V_{DS}
R_L
الحمل
V_{GS}
S
I_D
R_B
R_S
V_{GG}
V_{DD}
(حـ)
تيار الاستنزاف
I_D
C
b
a
الجهد بين المصدر والاستنزاف
V_{DS}
(د)

شكل (٤٧ - ٣)

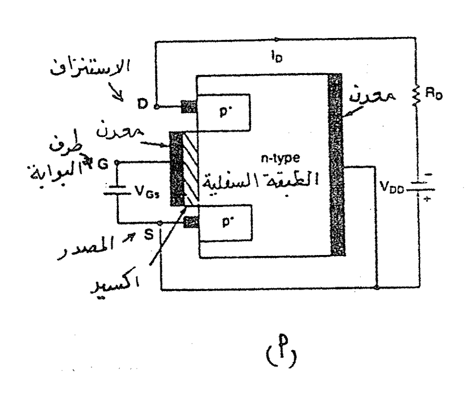


شكل (٤٩-٣)

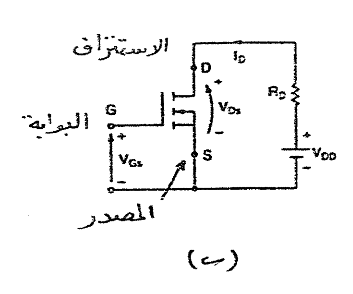
شكل (٤٨-٣)



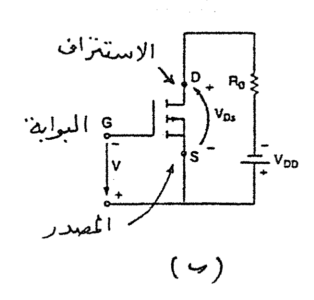
(أ)



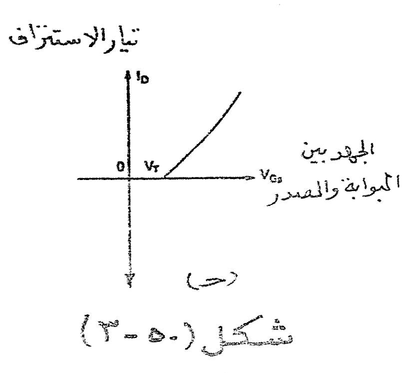
(أ)



(ب)

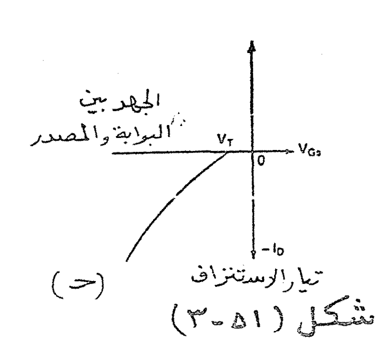


(ب)



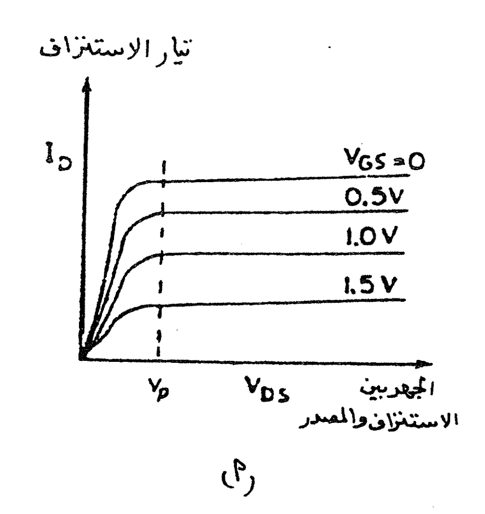
(حـ)

شكل (٣-٥٠)

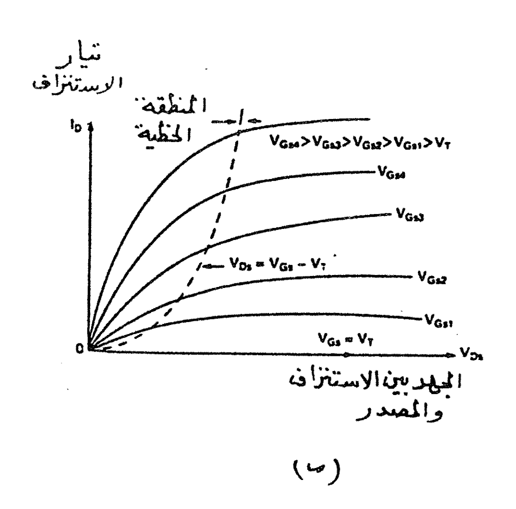


(حـ)

شكل (٣-٥١)

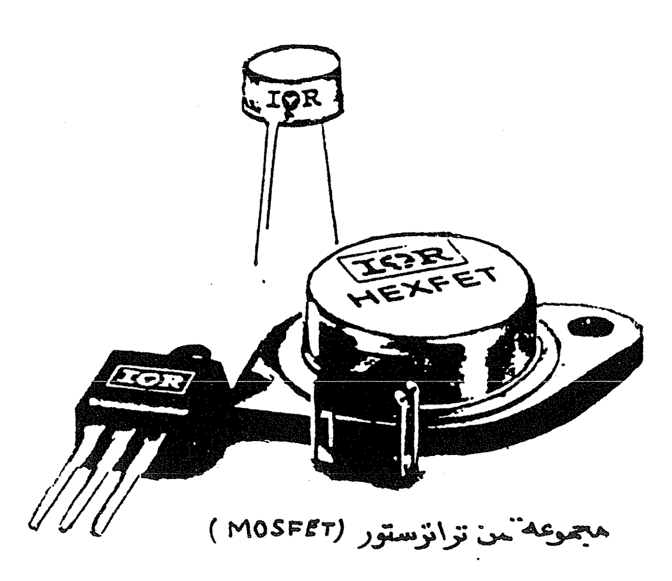


(أ)



(ب)

شكل (٢٥ - ٣)



مجموعة من ترانزستور (MOSFET)

شكل (٣٥ - ٣)

فعند التشغيل العادى يكون الطرف B_2 حياز موجب بالنسبة للطرف B_1 .

وعندما يكون تيار الباعث مساوياً للصفر ، فان قضيب السيليكون يعمل كمجزئ جهد فيظهر جزء من الجهد V_{BB} فى شكل (٥٧-٣) عند الباعث وليكن مثلاً ηV_{BB} ويلاحظ الآتى :

- اذا كان جهد الباعث V_E اقل من ηV_{BB} فان ديود الباعث يصبح حياز عكس ويكون تيار تسريب الباعث صغيراً وبإشارة سالبة .

- اذا كان جهد الباعث V_E اكبر من ηV_{BB} فان هذا يمثل حياز امامى ويمر تيار الباعث .

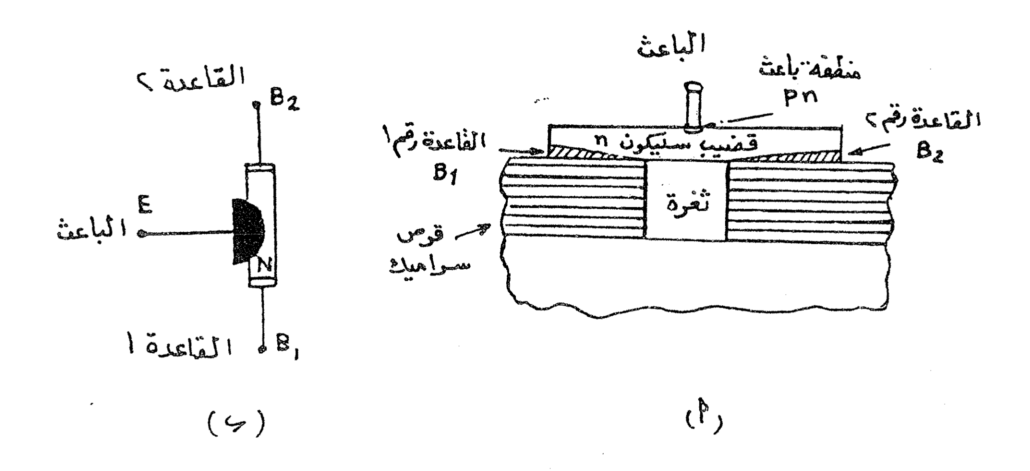
ويبين شكل (٥٨-٣) العلاقة بين I_E, V_E ولتوضيح هذه العلاقة سيتم اعادة تمثيلها بعد تغيير المحاور كما فى شكل (٥٩-٣) ، حيث يلاحظ نقطتان :

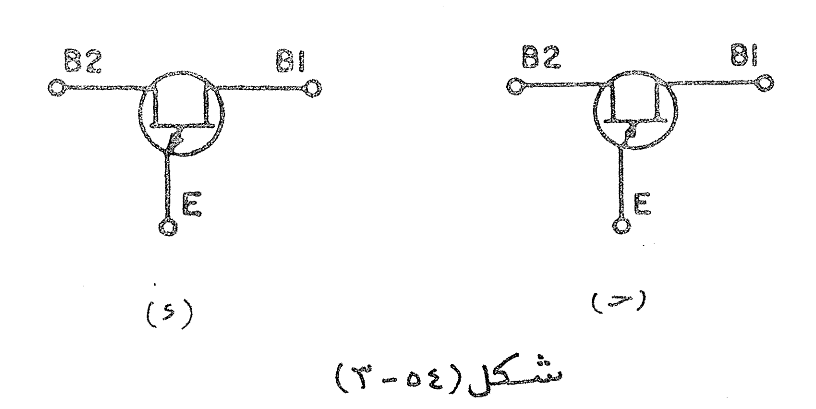
- نقطة الذروة *Peak point*، وتعرف المنطقة اسفلها بمنطقة الفصل *(Cut off)* ويكون فيها ديود الباعث حياز عكس مع مرور تيار تسريب صغير جداً .

- نقطة الوادى *Valley point* ، والمنطقة اعلاها هى منطقة التشبع وتكون المقاومة الديناميكية موجبة .

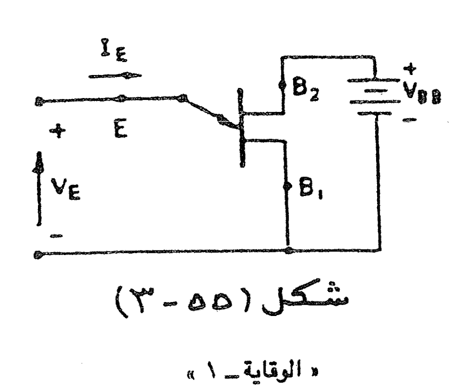
وأما المنطقة بينهما فهى عبارة عن منطقة مقاومة سالبة .

تمثل نقطة الذروة جهد الاطلاق *(Triggering voltage)* ويرمز لها بالرمز V_p وتخضع للمعادلة الآتية :

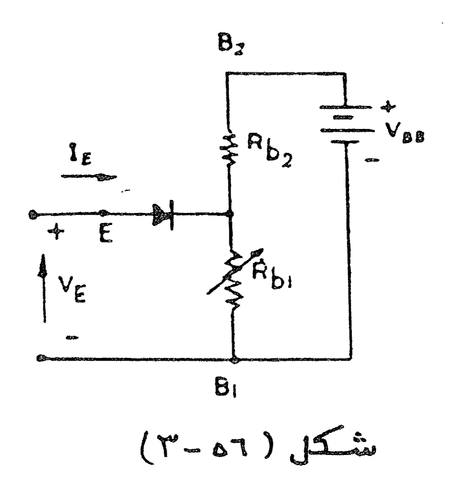




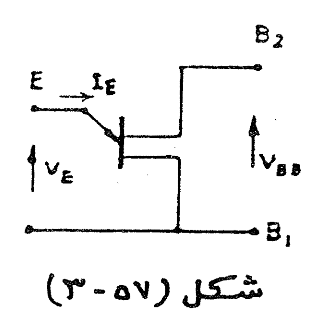
شكل (٣-٥٤)



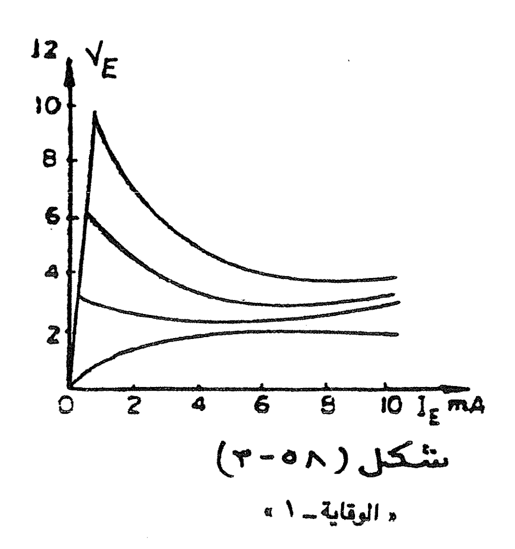
شكل (٣-٥٥)



شكل (٥٦ - ٣)



شكل (٥٧ - ٣)



شكل (٥٨ - ٣)

« الوقاية - ١ »

$$V_p = \eta\, V_{BB} + V_F$$

حيث :

η نسبة الوقف الاولى *Intrinsic stand-off ratio*

V_F جهد ديود الباعث عند مرور تيار امامى يساوى I_P (تيار نقطة الذروة) وتعتمد قيمة V_P على درجة الحرارة ، اى تقل قيمتها عند زيادة درجة الحرارة .

ومن القيم النموذجية

η من ٠,٥ الى ٠,٨

V_F حوالى ٠,٥ ڤولت

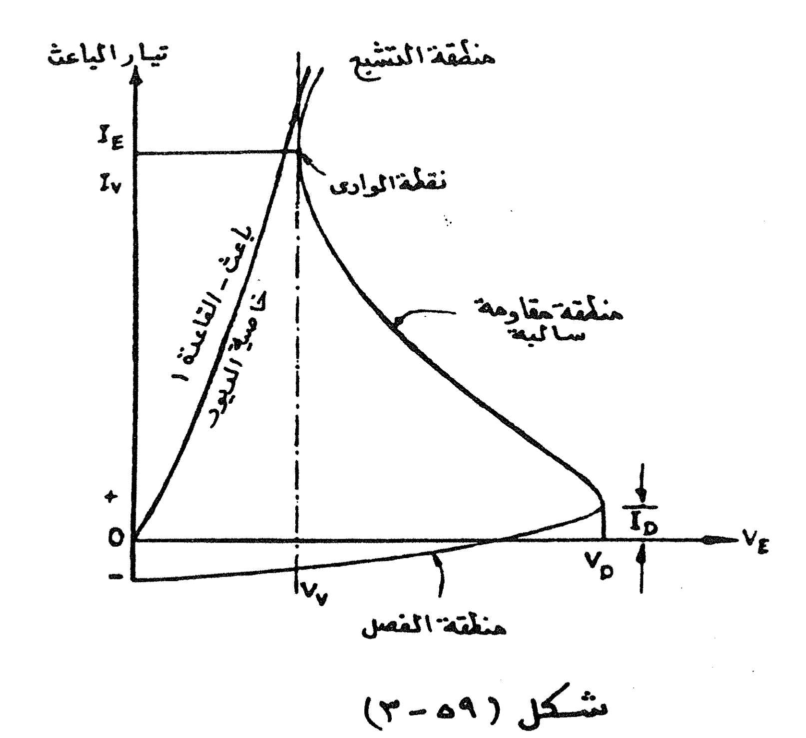
I_P من ٢ الى ٢٥ ميكرو امبير عند ٢٥° م

ويتضح من الشكلين (٦٠-٣) أ ، ب العلاقة بين تيار الباعث I_E والجهد بين الباعث والقاعدة B_1 وذلك فى حالتى الترانزستور *UJT* (القاعدة من النوع *N*) والترانزستور *CUJT* (القاعدة من النوع *P*) على التوالى .

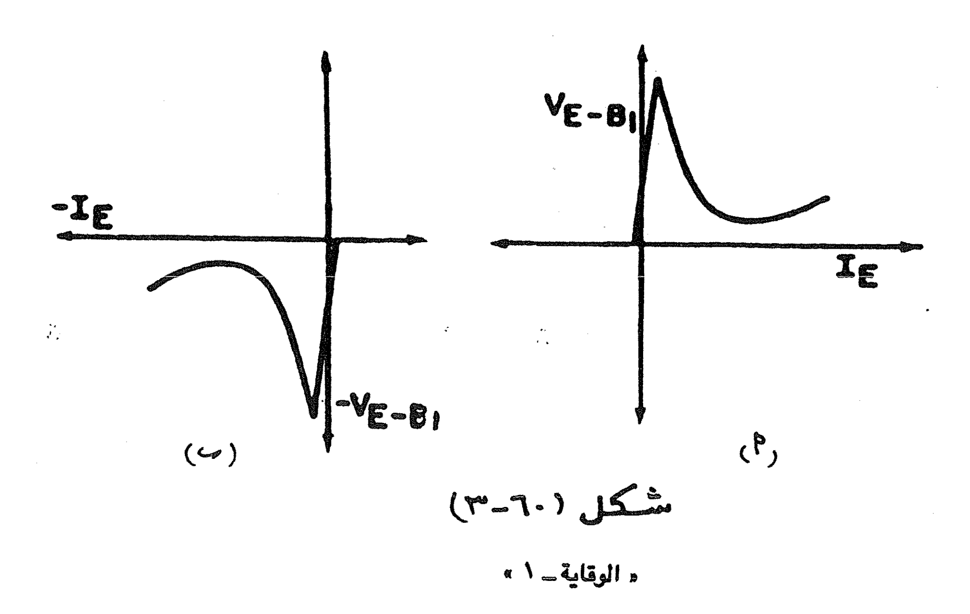
الترانزستور الضوئى *Phototransistor*

عند تسليط ضوء على وصلة *P-N* ذات حياز عكسى تنتج ازواج من الفجوات والالكترونات بوفرة . والترانزستور الضوئى عبارة عن وصلة تعمل بالاثارة الضوئية *Optical excitation* ويخضع هذا الترانزستور لعلاقة خطية جيدة مع الضوء ـ وله حساسية جيدة للأشعة تحت الحمراء تبدأ بحوالى ١٧٠٠ وحدة انجستروم ، وبالاضافة الى الخاصية الضوئية لهذا الترانزستور فانه يمتاز بخاصية الكسب *(gain)* حيث يمكن الحصول منه على تيار مخرج حوالى ٦ مللى أمبير .

ولايحتاج تشغيل الترانزستور الضوئى الى قدرة لتسخين فتيلة ولكنه يعمل بمصدر حياز بواسطة عدسة تقوم بتركيز ضوء على القاعدة ، والتى لها حساسية ضوئية ، فيسمح بمرور تيار من ٤ الى ٦ مللى امبير يكفى لتشغيل متمم مساعد تشغيلاً مباشراً ونتيجة تغيير شدة الضوء ، يمكن ان يحدث تغييـر بسيـط فى قيمـة الجهد بين القاعدة



شكل (٥٩ - ٣)



شكل (٦٠ - ٣)

والباعث يؤدى الى تغيير كبير فى تيار المجمع .

يمثل شكل (٦١-٣) أ الترانزستور الضوئى .

ويوضح شكل (٦١-٣) ب العلاقة بين جهد المجمع V_C وتيار المجمع I_C عندما تكون قيمة تيار القاعدة I_B ثابتة .

٤ - الثيريزتور "الموحد السيليكونى المحكوم "

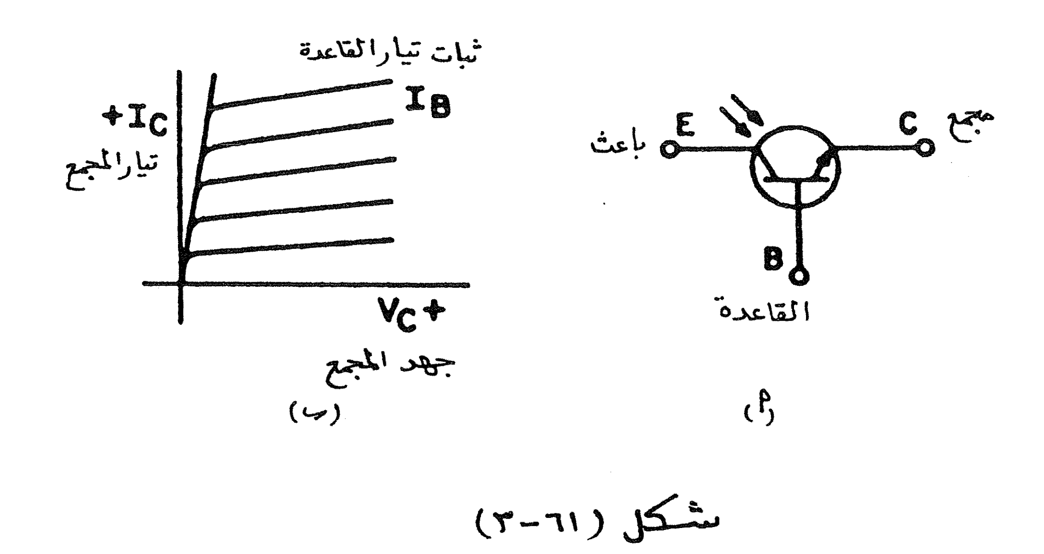
Thyristors-silicon controlled rectifier "

يتكون الثيريزتور من أربعة وصلات من مواد شبه موصلة إما *PNPN* او *NPNP* ، أو يتكون من اثنين من الترانزستور مثلاً *PNP* ، *N PN* كما فى الشكل (٦٢-٣) ، ويحتوى الثيريزتور على ثلاثة اطراف هى الانود والكاثود والبوابة وفى حالة ثيريزتور *PNPN* يطلق على الطرف من البداية *p* الانود ، ويطلق على الطرف عند النهاية *N* الكاثود ، بينما تؤخذ البوابة من الوصلة *N* الوسطى وتعرف فى هذه الحالة ببوابة الانود ، او تؤخذ من الوصلة *p* الوسطى وتعرف ببوابة الكاثود ، كما فى شكل (٦٣-٣) .

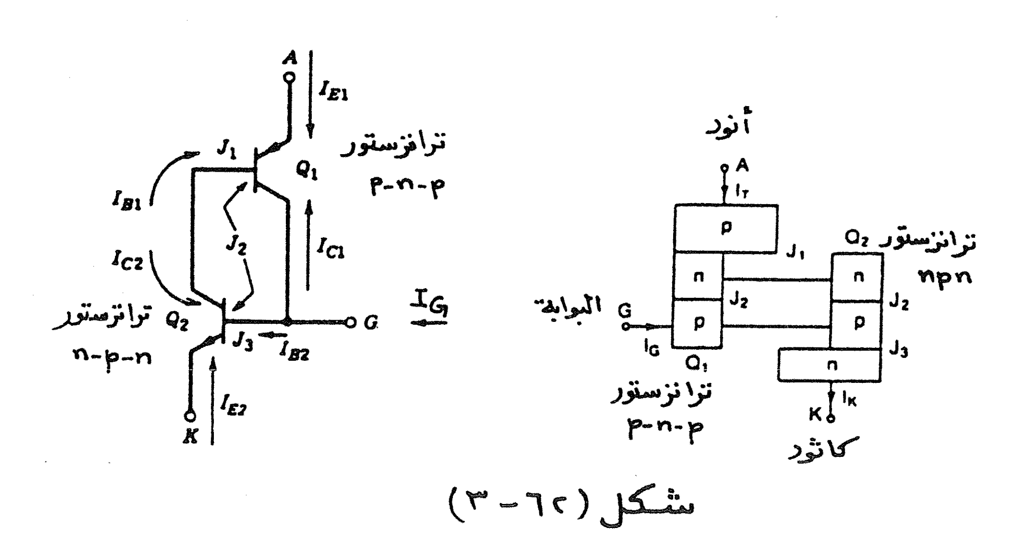
ومن اهم خواص الثيريزتور انه يتحمل مرور تيارات عالية جداً .

وتوجد انواع مختلفة من الثيريزتور ، ولكننا سنتعرض فقط للثيريزتور السيليكونى المحكوم والذى يرمز له بالرموز *SCR* .

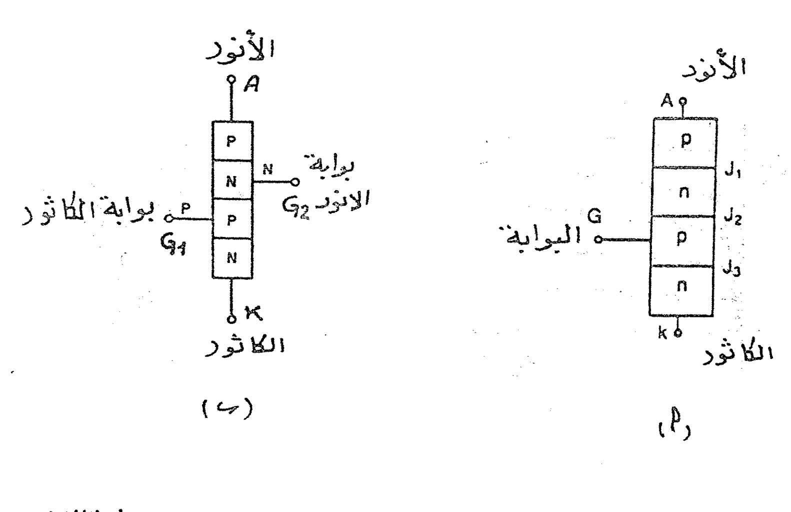
ويعرف الثيريزتور ببساطة ، بأنه ديود يمكن التحكم فيه ، اى يمكن التحكم فى مرور تيار من الانود الى الكاثود عن طريق التحكم فى التيار المار بالبوابة فعند تسليط جهد بين طرفى الانود والكاثود ، كما فى شكل (٦٤-٣) ، مع افتراض ان تيار البوابة I_G ثابت ، فانه يمكن الحصول على الخاصية بين التيار المار من الانود الى الكاثود I_{AK} والجهد بين الانود والكاثود V_{AK} كما فى شكل (٦٥-٣) ، ونلاحظ ان التيار I_{AK} الامامى والعكسى يكون صغيراً جداً ، وفى حالة مرور التيار الامامى I_{AK} يرتفع الجهد V_{AK} حتى يصل الى اقصى قيمة له عند النقطة *B* ويعرف الجهد عند هذه النقطة بأنه جهد الكسر *Break over voltage* او جهد الاطلاق *Triggering voltage* ويرمز له بالرمز V_{BO} ، وعند هذه اللحظة يكون التيار المار هو I_{BO} (والذى يقابله تيار بوابه يساوى الصفر) وبزيادة تيار البوابة تنخفض قيمة الجهد V_{BO} وتصل الى القيمة V_H ويقابلها

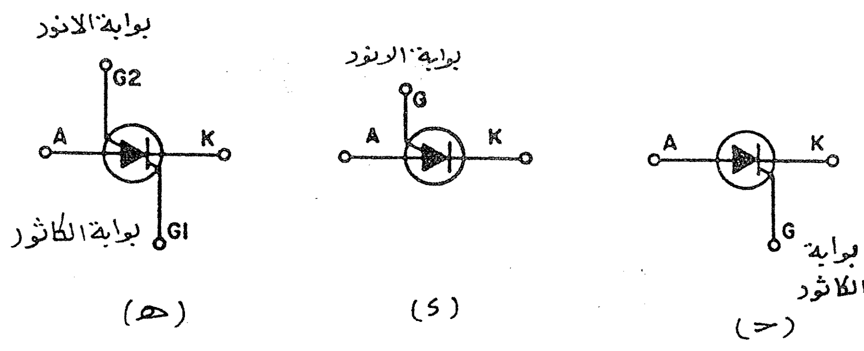


شكل (٦١-٣)

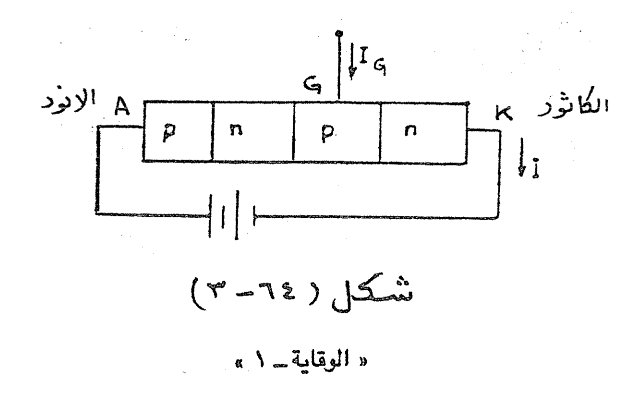


شكل (٦٢-٣)





شكل (٦٣-٣)



شكل (٦٤-٣)

التيار I_H الذى يعرف بأنه تيار التمسك *(Holding current)* وتكون خاصية الجزء BC كمقاومة سالبة ـ ويستمر الثيريزتور فى العمل مع امكانية زيادة التيار بعد هذه النقطة بواسطة التحكم فى جهد الانود .

كلما زادت قيمة تيار البوابة I_G كلما انخفض الجهد بين الانود والكاثود V_{AK} كما فى شكل (٦٦-٣) ، حيث يوضح منحنيات مختلفة ، وكل منحنى عند قيمة معينة لتيار البوابة كما يلاحظ ان جهد الكسر للمنحنى ٣ اقل من جهد الكسر للمنحنى ٢ مثلاً . ويمكن تعريف التيارات والجهود بالشكل (٦٦-٣) كالآتى :

V_{BO} جهد الكسر الامامى

V_{RWM} جهد الكسر العكسى (ويتسبب فى انهيار الثيريزتور)

V_H , I_H اقل تيار وجهد تشغيل بعد اجتياز الثيريزتور للكسر الامامى

اى نقطة على الخط *CD* تعتبر نقطة تشغيل للثيريزتور

I_G تيار البوابة وهو الذى يتحكم فى تحديد قيمة جهد الكسر الامامى V_{BO}

وعلى ذلك يمكن اعتبار الثيريزتور نبيطة تعمل بالتيار، يمكن ان يصل التشغيل حتى ٥٠ امبير (كحد اقصى) ويكون زمن التشغيل ميكروثانية ، وزمن الفصل من ٥ الى ١٠ ميكروثانية بينما يكون الهبوط فى الجهد ، بين الانود والكاثود ، عندما يكون الثيريزتور موصلاً حوالى من ١ الى ١,٥ ڤولت وغالباً يكون ثابتاً ولايعتمد على تيار الانود .

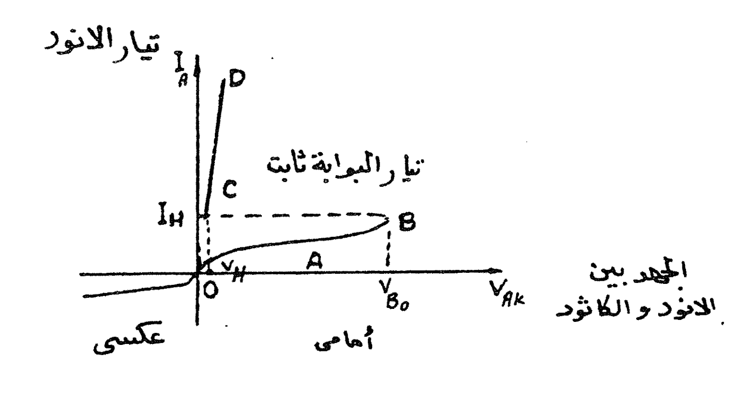
ويتم تشغيل الثيريزتور بأحد هذه الطرق :

١- باستخدام ضوء *Light turn on*

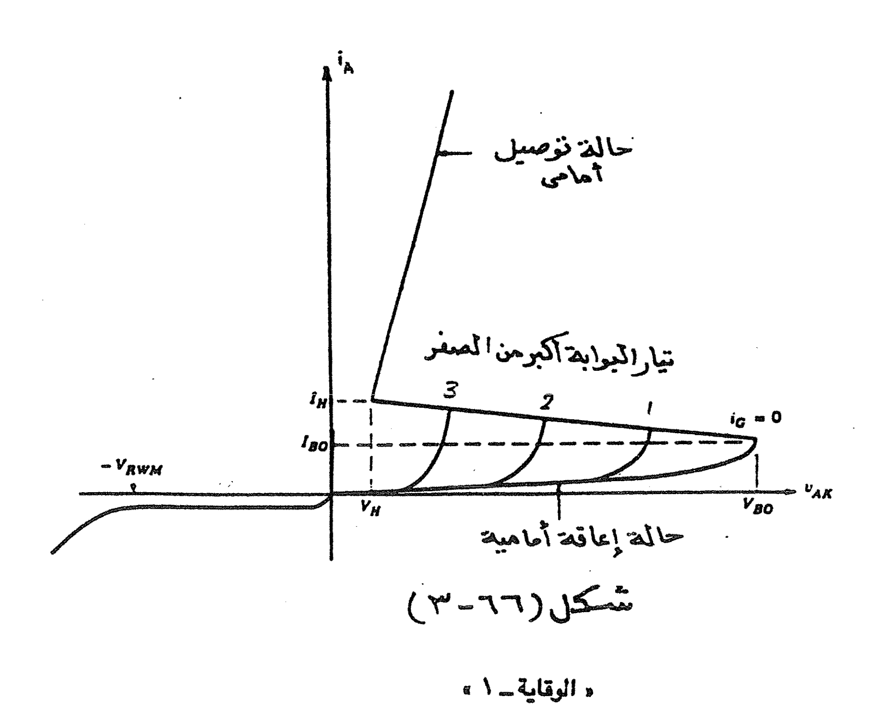
يسلط ضوء على بوابة الكاثود فتنتج طاقة كافية لتشغيل الثيريزتور .

٢ - تشغيل البداية *Gate turn on*

عند مرور تيار كبير بدرجة كافية بالبوابة فان الثيريزتور يصبح موصلاً بشرط ان يكون جهد الانود موجباً بالنسبة للكاثود وللثيريزورات ذات الاحجام الكبيرة يمكن ان يصل تيار البوابة الى ٢٥٠ مللى امبير او اكثر وافضل نبضه اطلاق لتيار البوابة هى إشارة حافتها المتقدمة حادة *Sharp leading edge* والتى تكون ذات قيمة كبيرة ولكن زمنها صغير جداً . ويجب ن يكون معدل تغير التيار بالنسبة للزمن مناسباً ($\frac{dI}{dt}$) بحيث



شكل (٦٥ ـ ٣)



شكل (٦٦ - ٣)

لايحدث تسخين زائد للثيريزتور ويتسبب فى انهياره ، ومن القيم المناسبة ٥ أمبير / ميكروثانية .

٣ - تسليط جهد كسر *Break over voltage turn on*

تتغير خصائص الثيريزتور بزيادة الجهد الامامى بين الانود والكاثود ، وعندما يكون الجهد مرتفعاً تجد ان تيار التسرب صغيراً ، بينما عند انخفاض الجهد يكون التيار الامامى كبيراً ، ويكون جهد الكسر اكبر من الجهد العكسى المقنن للثيريزتور ، علماً بان هذه الطريقة لاتستخدم عملياً .

٤ - التشغيل باستخدام معدل تغير الجهد بالنسبة للزمن *Turn-on* $\frac{dv}{dt}$

يمكن ان ينتج تياربوابة عابر *(transient)* اذا كان معدل التغير سريعاً وذلك لازدياد الجهد بين الانود والكاثود نتيجة السعوية بين الانود والبوابة وبين البوابة والكاثود ويمكن التغلب على هذه الحالة عن طريق التحكم فى قيمة $\frac{dv}{dt}$ باضافة مقاومة خارجية صغيرة بين البوابة والكاثود او بعمل قصر داخلى على محيط الوصلة بين البوابة والكاثود او برش الذهب فى المرحلة الاخيرة للتصنيع .

عملية توصيل وفصل الثيريزتور

يوضح شكل (٦٧-٣) أ تمثيل الثيريزتور بينما يوضح شكلى (٦٧-٣)ب ، جـ فكرة توصيل وفصل الثيريزتور والتى تتلخص فى الآتى :

يتم توصيل الثيريزتور *(On-state)* ، اى مرور تيار i_A من الانود الى الكاثود عن طريق تسليط :

- جهد تشغيل عالى V_{AV} ، بين الانود والكاثود (الانود موجب بالنسبة للكاثود) .
- تيار بوابة كبير I_G ليقلل جهد الكسر الامامى

وهو مايمثله الربع الاول فى الشكل (٦٧-٣)ب ، حيث يمثل المنحنى ١ جهد تشغيل عالى V_{AK} وفى المنطقة بين المنحنى ١ والمنحنى ٢ يتم تسليط تيار بوابة كبير يعمل على تشغيل الثيريزتور ، وبذلك يصبح المنحنى ٢ ممثلاً لحالة التشغيل بينما اذا اردنا فصل الثيريزتور فاننا نحتاج الى عكس اتجاه تيار وجهد الانود حتى نصل الى قيمة الصفر مرة أخرى ، يتم ذلك عن طريق :

- تخفيض جهد الانود الى قيمة اقل من جهد الحد الادنى V_H .

- وضع تيار عكسى على البوابة I_G .

يوضح شكل (٦٧-٣) جـ نفس المنحنى الموجود بالشكل (٦٧-٣) ب ولكن للحالة المثالية *(Idealized)* .

وبصفة عامة يمكن وصف الثيريزتور بأنه نبيطة ذات قدرة منخفضة عندما يكون مقنن التيار *(Rated current)* اقل من ٥ امبير ويوصف انه نبيطة ذات قدرة متوسطة اذا كان مقنن التيار فى حدود من ٥ امبير الى ٥٠ امبير ، بينما للتيارات اعلى من ٥٠ امبير فيقال انه ذو قدرة مرتفعه ويغلف الثيريزتور بمادة عازلة يعتمد نوعها على قيمة التيار المقنن والغرض الاصلى من استخدام الثيريزتور . ويكون التغليف فى انواع الثيريزتور ذات القدرات الصغيرة ، عبارة عن مادة من البلاستيك اما فى القدرات الاعلى يكون الغلاف من السيراميك .

ويتشابة شكل الثيريزتورات التى يبلغ تيارها المقنن حتى ١٠ أمبير ، مع الترانزستورات وفى نفس الحجم تقريباً ، بينما يختلف الشكل والحجم فى القدرات العالية .

وتوجد انواع مختلفة من الثيريزتور منها :

- الثيريزتور ذو السبيكة المنتشرة *Alloy diffused thyristor*

يوضح شكل (٦٨-٣) مكونات الثيريزتور الرئيسية .

- الثيريزتور ذو مقاومة الانهيار الحرارى *Thermal fatigue resistant SCR*

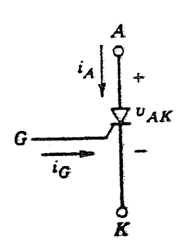
يوضح شكل (٦٩-٣) مكونات الثيريزتور الرئيسية

كما يوضح شكل (٧٠-٣) انوع مختلفة من الثيريزتورات .

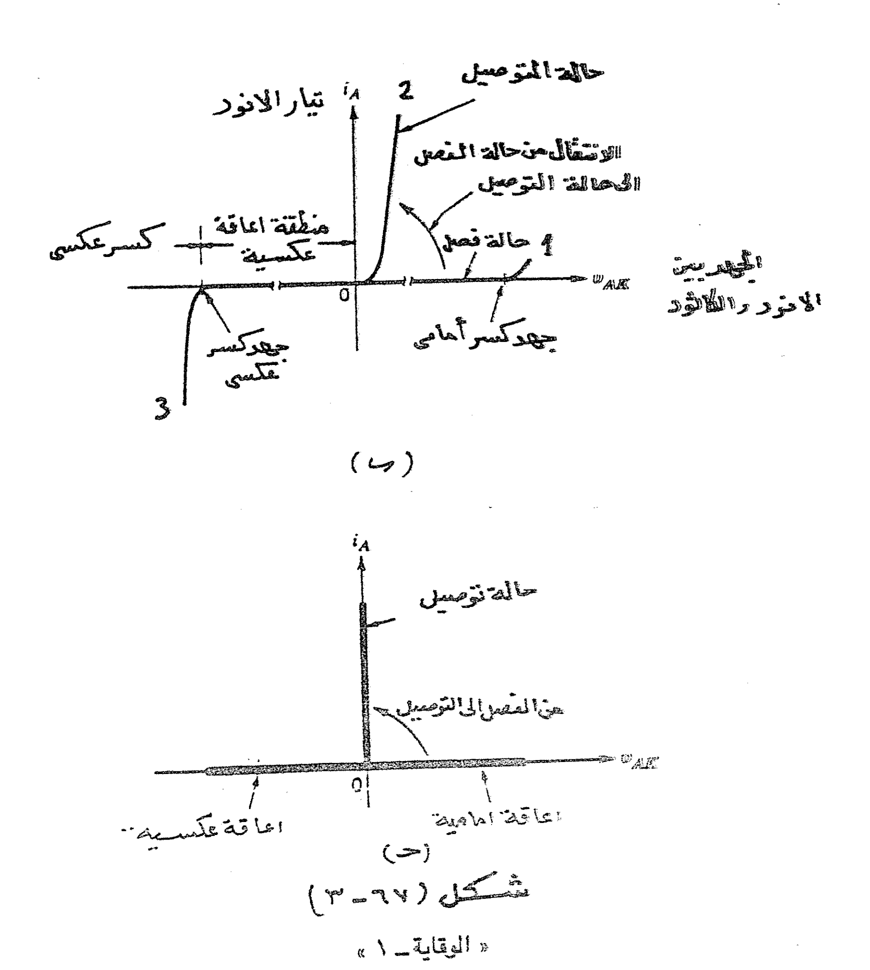
ويجب ان تضاف مبردات للحرارة فى حالة استخدام ثيريزتورات ذات قدرات مقننة عالية جداً ، لتشع الحرارة الزائدة وتعمل على حماية الثيريزتور من التلف نتيجة مرور تيارات عالية ، واحياناً تجهز قاعدة الثيريزتور ، وهى فى نفس الوقت تعتبر وصلة الانود الخارجية ، لربط مبردات الحرارة بها .

يوضح شكل (٧١-٣) انواع مختلفة من البالوعات الحرارية (مشعات حرارية)

ويوضح شكل (٧٢-٣) ثيريزتور كامل بالمشعات الحرارية *(Radiators)*

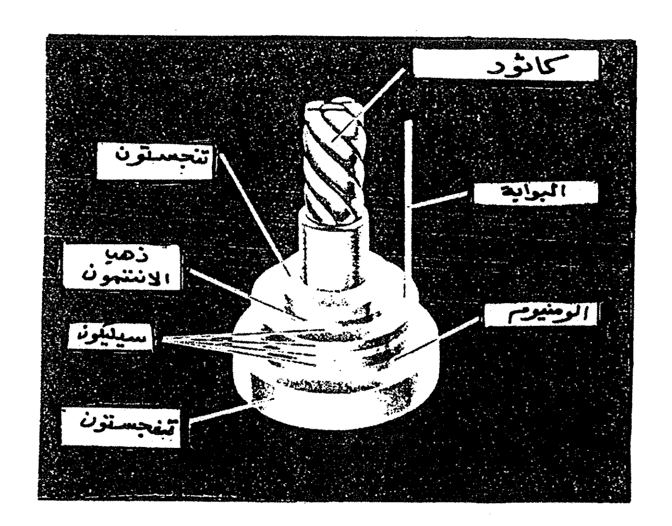


(أ)

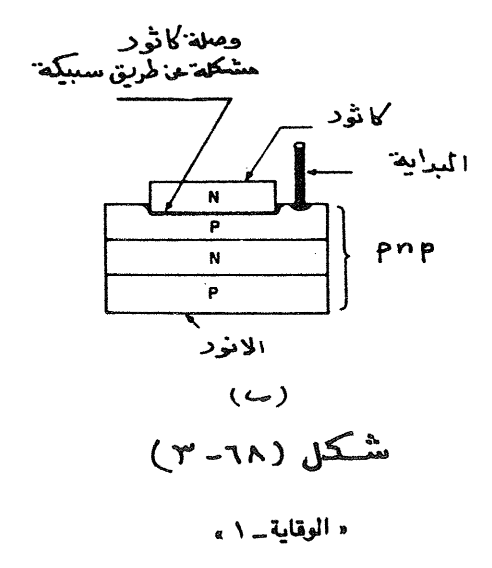


شكل (٦٧-٣)

« الوقاية ـ ١ »

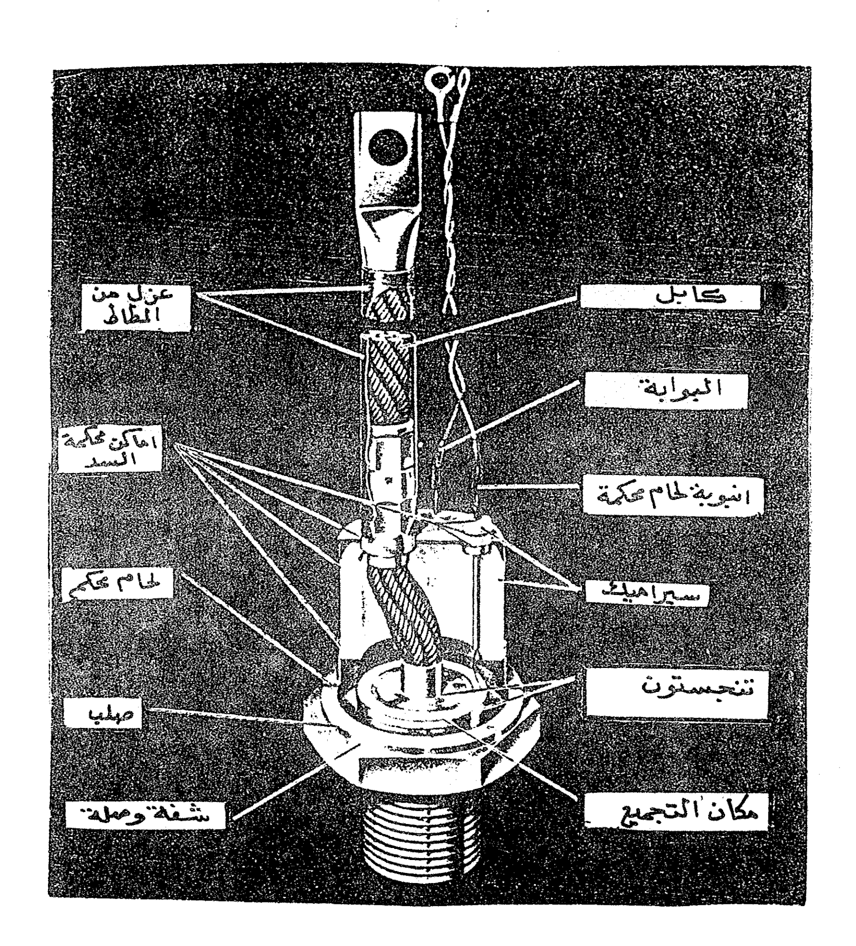

كاثود
تنجستون
البوابة
ذهب
الانتمون
الومنيوم
سيليكون
تنجستون

(أ)

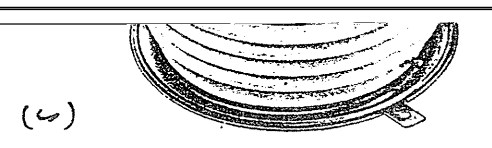

وصلة كاثود
مشكلة عن طريق سبيكة
كاثود
البداية
N
P
N
P
pnp
الانود

(ب)

شكل (٦٨-٣)


عزل من المطاط
كابل
البوابة
اماكن محكمة السد
انبوبة لحام محكمة
لحام محكم
سيراميك
تنجستون
صلب
شفة وصلة
مكان التجميع

شكل (٦٩-٣)

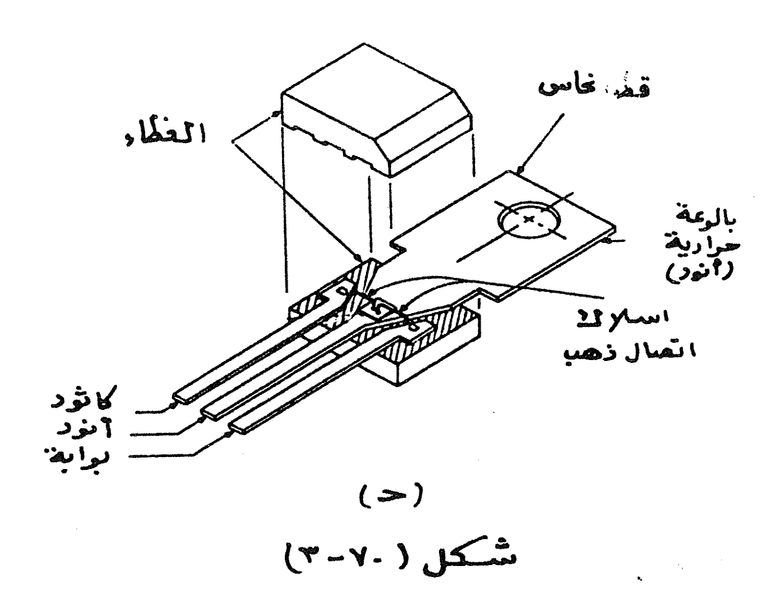


(ب)

ثيريزتور من النوع ذى القرص

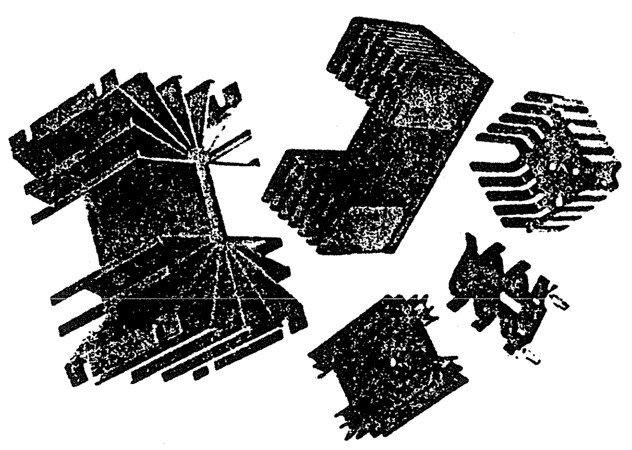
شكل (٧٠-٣)

« الوقاية ـ ١ »



(حـ)

شكل (٧٠-٣)



أنواع مختلفة من البالوعات الحرارية

شكل (٧١-٣)

٥ - ديود الثيريزتور ثنائى الاتجاة او الدياك

Bidireectional diode thyristor or DIAC

يطلق على هذا النوع اسم «الدياك» وهو الاسم التجارى الشائع ، والرمز المتعارف مبين بشكل (٧٣-٣) أ ويلاحظ بمنحنى الخواص فى شكل (٧٣-٣) ب أنه :

- عندما يقل الجهد خلال طرفى الدياك عن قيمة جهد الانهيار الامامى V_{B1} فلا يمر التيار خلاله .

- عند جهد يساوى V_{B1} يبدأ الدياك فى التوصيل ، وتتناقص قيمته عبر طرفى الدياك الى قيمة اصغر قليلاً ويلاحظ انه يجب الا يقل التيار المار بالدياك عن قيمة الحد الادنى له ، وحسب خصائصه ، وعادة تقع هذه القيمة بين ٥٠ وحتى ٣٠٠ ميكرو امبير .

- عند عكس الجهد بين طرفى الدياك يحدث له انهيار عكسى عند جهد V_{B2} .

ويلاحظ انه يجب ان تتساوى قيمتى الجهد V_{B1} ، V_{B2} (يسمح بوجود اختلاف صغير جداً جداً) .

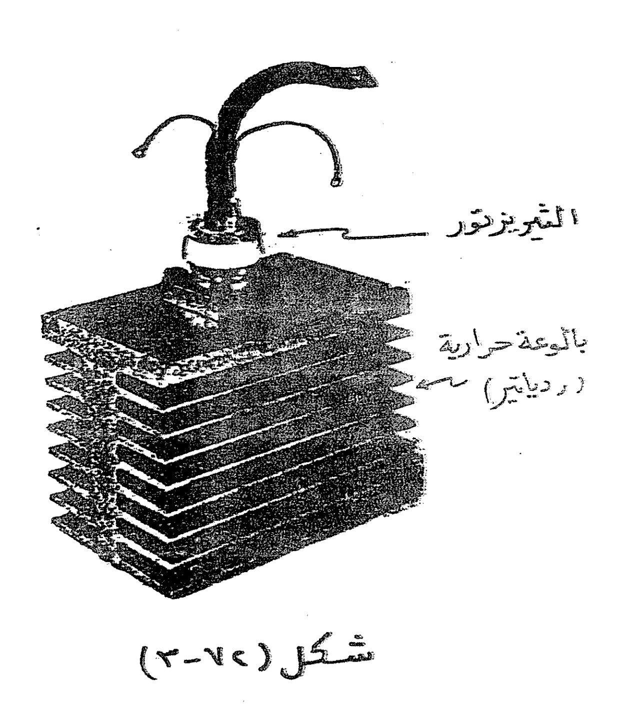
٦ - الثيريزتور ثنائى الاتجاه او الترياك

Bidirectional triode thyristor or the TRIAC

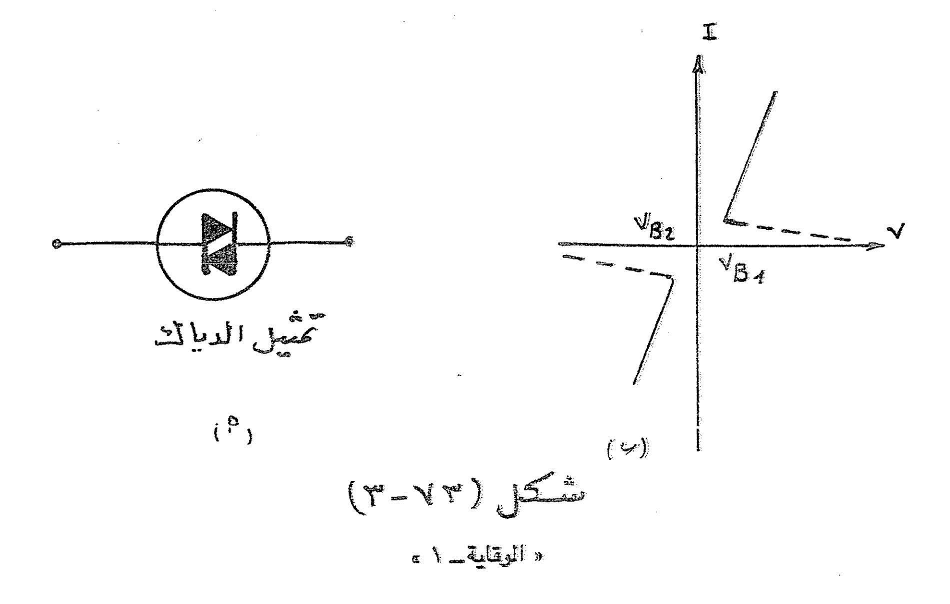
عبارة عن نبطية تتكون من طبقات من مواد شبه موصلة ، تمثل فى النهاية باثنين من الثيريزتور SCR متصلين على التوازى فى اتجاهين متضادين ، والبوابتين متصلتين معاً بخروج واحد يمثل بوابة الترياك G ، اما الطرفان الاخران فيرمز لهما MT_1 , MT_2 كما فى الشكل (٧٤-٣) أ ، بينما شكل (٧٤-٣) ب يمثل الرمز المستخدم للترياك ، ونتيجة توصيل الترياك بهذا الشكل فباستطاعته التوصيل فى كلا الاتجاهين وبالتالى لايمكن اعتبار الطرفين MT_1 , MT_2 انود ولاكاثود وعند تسليط نبضة (او اشارة) موجبة او سالبة القطبية ذات قيمة كبيرة ، اكبر من القيمة المستخدمة لتشغيل الثيريزتور ، فان الترياك يصبح فى حالة توصيل امامى او عكسى حسب نوع النبضة .

اما اذا كان جهد الطرف MT_2 موجباً بالنسبة للطرف MT_1 وتم تسليط نبضة موجبة على البوابة G فان الترياك يصبح فى حالة توصيل .

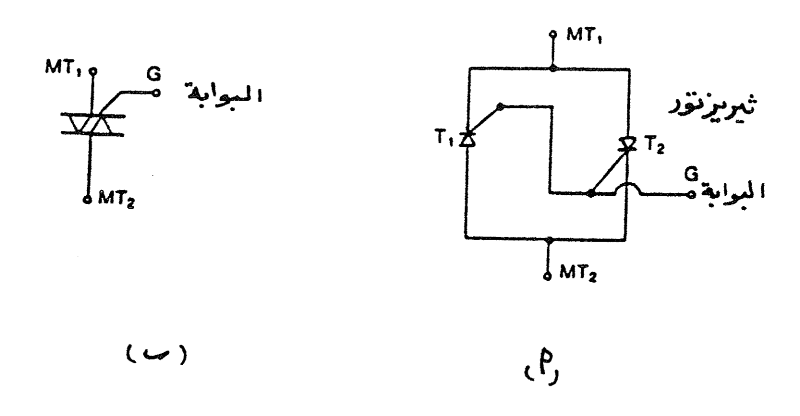
واذا كان جهد الطرف MT_2 سالباً بالنسبة للطرف MT_1 وتم تسليط نبضة سالبة

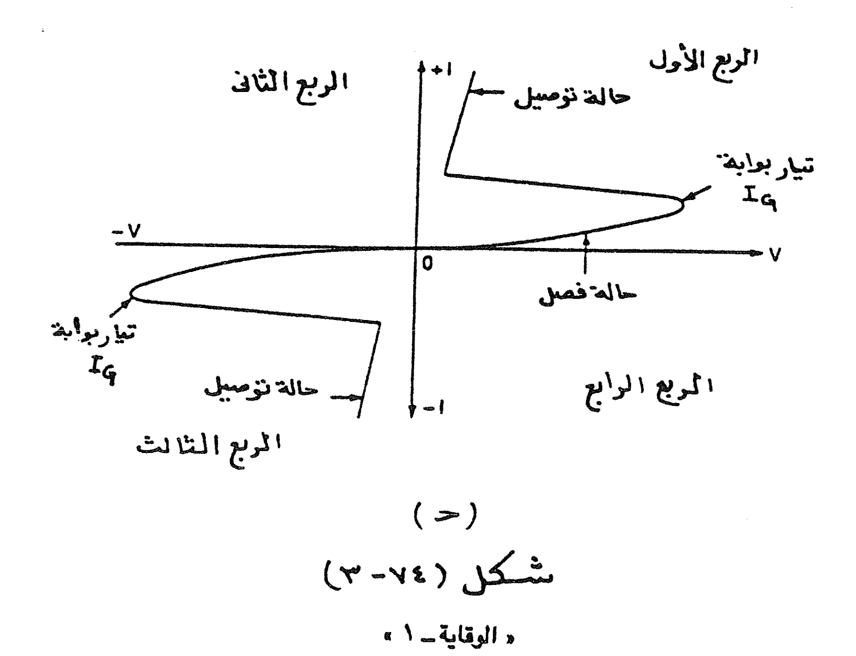


شكل (٧٢-٣)



شكل (٧٣-٣)





(ج)

شكل (٧٤-٣)

« الوقاية ـ ١ »

جدول (١-٣) أنواع الديودات

النوع	الخاصية	الرمز
ديود (موحد) Diode	I_A , V_A+	A K
زينر ديود Zener diode	I , V_A+	A K
ديود قناة Tunnel diode	I_A , V_A+	A K
ديود ضوئي Photodiode	$+I_A$, $-V_A$, H0 , H1 , H2 , H3 , $+V_A$, $-I_A$	A K
ديود انبعاث ضوئي Infra red emitting diode Light emitting diode.	I_A , V_A+	A K
ديود تحميل حراري Hot carrier diode. Schottky diode.	I , التحميل الحراري , التقليدي , V	A K

A = أنود

k = كاثود

يمكن الاستغناء عن الدائرة المحيطة برمز الديودات ، حيث أن وضعها يعتبر اختياريا .

جدول (٢-٣) أنواع الترانزستور

الرمز	الخاصية	النوع
E, C, B	V_C-, I_{B1}, I_{Bn}, $-I_C$, $I_{Bn} > I_{B1}$	ترانزستور PNP *Transistor PNP*
E, C, B	$+I_C$, I_{Bn}, I_{B1}, V_C+	ترانزستور NPN *Transistor NPN*
E, C, B	$+I_C$, $I_B + H$, V_C+	ترانزستور ضوئي *- Photo Transistor* *- Light sensitive Transistor*
B2, B1, E	V_{E-B1}, I_E	ترانزستور أحادي الوصلة *Unijunction Transistor* *(N-type)*
B2, B1, E	$-I_E$, $-V_{E-B1}$	ترانزستور أحادي الوصلة *Unijunction Transistor* *(P-type)*
D, I_D, G, S	I_D, V_{GS1}, V_{GS1}, V_{GSn}, 0	ترانزستور متأثر بالمجال ذي معدن مؤكسد MOSFET (N_type)
D, I_D, G, S	I_D, V_{GS1}, V_{GS1}, V_{GSn}, 0	ترانزستور متأثر بالمجال ذي معدن مؤكسد MOSFET (P_type)

E = باعث
C = مجمع
B = قاعدة
B_1 = قاعدة رقم ١
B_2 = قاعدة رقم ٢

D = استنزاف
G = بوابة
S = مصدر

جدول (٣-٣) أنواع الثيريزتورات

الرمز	المنحنى	النوع
A, G, K	I_A, V_A	ثيريزتور أحادى الوصلة Unijunction Thyristor
A, G, K	I_A, V_A+	ثيريزتور ضوئى Light Unijunction Thyristor
	I, V	دياك Diac Bidirectional diode Thyristor
A, K, G	I_A, V_A+	ثيريزتور (موحد سليكونى محكوم) SCR Silicon Controlled Rectifier
A, K	I_A, V_A+	ثيريزتور ضوئى LAS -Light active switch -Light reverse B
A, K, G	I_A, V_A+	ثيريزتور موحد سليكونى محكوم ضوئى LASCR (Light active silicon controlled Rectifier)
T2, T1, G	I, V	ترياك TRIAC Bidirectional thyristor
G2, A, K, G1	I_A, V_A+	مفتاح سليكونى محكوم SCS Silicon controlled Switch
G2, A, K, G1	I_A, V_A+	مفتاح سليكونى محكوم ضوئى LASCS Light active silicon controlled switch

A = أنود ، K = كاثود ، G = بوابة

G_1 = بوابة الكاثود ، G_2 = بوابة الانود

على البوابة G فان التريك يصبح فى حالة توصيل .

ويوضح شكل (٧٤-٣)جـ ذلك ، حيث يمثل الربع الاول حالة توصيل امامى (تيار وجهد البوابــة موجباً) ، بينما الربع الثالث حالة توصيل عكسى (تيار وجهد البوابة سالباً) .

وتوضح الجداول (١-٣)،(٢-٣) ، (٣-٣) أنواع ورموز الديودات والترانزستورات والثيريزتورات .

يوضح جدول (٤-٣) أمثلة لمقننات بعض انواع الديودات والترانزستورات والثيريزتورات .

جدول(٤-٣)

امثلة لمقننات معدات من مواد شبه موصلة

النــــوع	التيار المقنن (امبير)	الجهد المقنن (ڤولت)	زمن التشغيل (ميكروثانية)	جهد تشغيل / تيار تشغيل on current on voltage ڤولت امبير
ديود لاغراض عامة	٣٥٠٠	٣٠٠٠	—	١٠٠٠٠/١,٦
ديود لاستجابة سريعة	١٠٠٠	٣٠٠٠	٢ - ٣	٣٠٠٠/٣
ديود تحميل حرارى	٦٠	٤٠	٠,٢٣	٦٠/٠,٥٨
ترياك	٣٠٠	١٢٠٠	—	٤٢٠/١,٥
ترانزستور	٢٥٠	٤٠٠	٩	٢٥٠/١
MOSFET	٨,٦	٥٠٠	٠,٧	٠,٦ اوم
	١٠	٥٠٠	٠,٦	٠,٤ اوم

٧ - العناصر المساعدة للدوائر الالكترونية

من العناصر المساعدة للدوائر الالكترونية المقاومات ، والمكثفات ، والممانعات والمحولات ذات القدرات الصغيرة . وسنتعرض لكل منها باختصار .

أ - المقاومات *Resistors*

تحد المقاومات من مرور التيار الكهربى ، بالدائرة الكهربائية المركبة بها .

وتعرف قيمة المقاومة بانها تساوى ١ أوم اذا مر بها ١ أمبير عند تسليط ١ ڤولت بين طرفيها . وتخضع للعلاقة $R = \frac{V}{I}$ وتقاس المقاومة عملياً بقيمتها بالاوم وقدرتها بالوات

وتوجد أنواع متعددة من المقاومات فمثلاً من حيث التشغيل هناك مقاومات ثابتة القيمة ومقاومات متغيرة القيمة ، بينما من حيث التصنيع توجد مقاومات كربونية ـ سلكية ـ الصوف الزجاجى (وهى مصنوعة من مواد بلاستيكية موصلة للتيار الكهربى) فيما يلى فكرة عن الانواع الشائعة :

- المقاومات الكربونية :

تمتاز هذه المقاومات بانها صغيرة الحجم وصغيرة القدرة ، حيث تتراوح قدرتها من ٠,٢٥ الى ٢ وات فقط . وتصنع من اسطوانة صغيرة جداً من الخزف مغلفة بطبقة حلزونية من الجرافيت ثم تغطى بطبقة عازلة من اللاكية .

وعادة تستخدم الالوان على شكل خطوط متجاورة ، يمكن عن طريقها معرفة قيمة هذه المقاومة باستخدام الجدول (٥-٣)

- المقاومات السلكية :

اكبر حجماً من المقاومات الكربونية وتتراوح قدرتها من ٢ إلى ٢٠ وات عبارة عن اسطوانة خزفية ، يلف عليها سلك معدنى معزول من طبقة واحدة او طبقات متعددة ، وتعتمد قيمة المقاومة على عدد اللفات ، ويمكن ان يكون السلك مصنوعاً من الفضة او النيكل كروم او النحاس او الالومنيوم معتمداً على غرض استخدام المقاومة وتكون قيمة مطبوعة على الجسم الخارجى للمقاومة .

مقاومة كربونية

طرف المقاومة — طرف المقاومة

جدول (٥-٣)

اللـــــون	اللـون الاول	اللـون الثانى	اللـون الثالث	اللـون الرابـــــع
Black اسود	0	0	1	- اذا كان اللون الرابع فضى يعنى ذلك ان هناك سماحية فى قيمة المقاومة ± ١٠٪ - اذا كان اللون ذهبى فان السماحية ± ٥٪ . - فى حالة عدم وجود لون فان السماحية ± ٢٠٪
Brown بنى	1	1	10	
Red احمر	2	2	100	
Orange برتقالى	3	3	1000	
Yellow اصفر	4	4	10000	
Green اخضر	5	5	100000	
Blue ازرق	6	6	1000000	
Violet بنفسج	7	7	10000000	
Gray رصاصى	8	8	100000000	
White ابيض	9	9	—	

اغراض استخدام المقاومات فى الدوائر الالكترونية :

- لتحديد قيمة التيار بدوائر *LED* ، الترانزستور ، ...

- كمقسم للجهد ، قبل أحد دوائر تغذية الترانزستور باستخدام المقاومات R_1,R_2 كما فى شكل (٧٥-٣) أ .

او للحصول على جهد متغير من خلال مقاومة متغيرة كما فى شكل (٧٥-٣) ب وتستخدم كذلك فى الدوائر ذات الحساسية للجهد ، كما سيذكر فيما بعد فى دوائر المقارنات *(Comparator circuits)* .

- وتستخدم فى متممات الوقاية الاستاتيكية للحصول على قيم ضبط التشغيل *(Setting)* بالاضافة الى استخدامها فى متممات التأخير الزمنى *Time delay* .

يعتبر النوع ذى السلك الملفوف *Wire wound type* من المقاومات شائعة

الاستخـدام ، فى هذه الحالة ، فهى ذات عول عالى حتى قيمة واحد كيلو اوم .

وقد تم التوصيل حديثاً الى تصنيع مقاومات من مواد شبه موصلة تعرف باسم بوتنشيومتر سمتو *Potentimeter cemeto* واصبحت تستخدم بتوسيع فى متممات الوقاية الاستاتيكية كمقاومة لقياس فرق الجهد .

ونادراً ما تستخدم المقاومات الكربونية فى متممات الوقاية الاستاتيكية وانما تستخدم بدلاً منها مقاومات ذات معدن مؤكسد *Metal oxide resistors* ، او مقاومات من معدن على شكل شرائح *Metal film resistors* ، او مقاومات ذات سلك ملفوف *Wire wound resistors*

ب - المكثفـات *Capacitors*

تختزن المكثفات الطاقة الكهربائية . ووحدات المكثفات هى الفاراد. ولما كان المكثف الذى تبلغ سعته واحد فاراد ضخم جداً فإن المكثفات المستخدمة هى اجزاء صغيرة من الفاراد وحدتها حسب المبين فيما يلى :

١ ميكروفاراد (μF) = ١٠ $^{-٦}$ فاراد

١ نينوفاراد (nF) = ١٠ $^{-٩}$ فاراد

١ بيكوفاراد (pF) = ١٠ $^{-١٢}$ فاراد

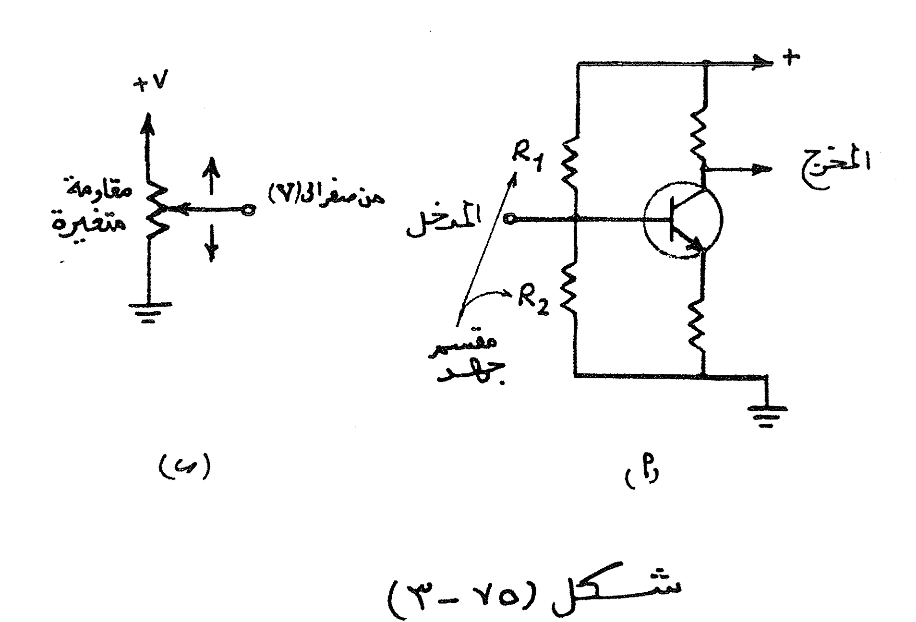
وتطبع قيمة المكثف على الجسم الخارجى له . وتوضع علامات القطبية لتمييز الاطراف وللتأكد من استخدامها استخداماً سليماً . كما فى الشكل (٧٦-٣)

وتوجد أنواع متعددة من المكثفات منها :

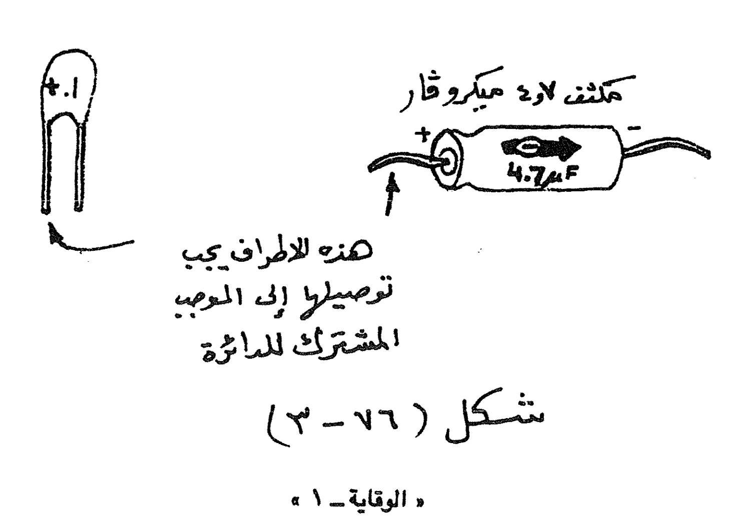
مكثفـات ورقيــة

تصنع من اوراق من القصدير تعزل بورق مشبع بالزيت او الشمع . تتراوح سعتها بين ١ بيكوفاراد الى ٨ ميكروفاراد .

وتستخدم عادة مع الترددات المنخفضة والمتوسطة ولاتصلح للترددات العالية وتتحمل قيم الجهود من ١٠ فولت وحتى ١٥٠٠ فولت .



شكل (٧٥-٣)



شكل (٧٦-٣)

مكثفات مصنوعة من الميكا

تعتبر الميكا هى المادة العازلة لهذا النوع . وتتراوح سعة المكثفات بين ١٠ بيكوفاراد وحتى ١ ميكروفاراد ويمكن ان تتحمل الجهود حتى ١٠٠٠٠ ڤولت كما تستخدم للترددات العالية .

ومن عيوب هذا النوع ان قيمته السعوية تتأثر بارتفاع درجات الحرارة بالاضافة الى ارتفاع سعره .

مكثفات السيراميك

يمتاز هذا النوع بصغر الحجم مع سعة كبيرة نسبياً تتراوح بين ٥ بيكوفاراد الى ٢ ميكروفاراد ويتحمل الجهود حتى ٢٠٠٠٠ ڤولت ويستخدم لجميع الترددات . ويعتبر اكثر المكثفات انتشاراً حيث انه ثابت السعة عند حدوث تغيير فى الجهد الكهربى او تغيير فى درجات الحرارة او تغيير فى الترددات .

المكثفات الكيماوية

تكون المادة العازلة فى هذه الحالة عبارة عن سائل الكتروليتى او ورق مشبع بهذا السائل ـ ويستخدم هذا النوع فى دوائر التيار المستمر فقط .

قد تصل سعة هذا النوع الى ٥٠٠ ميكروفاراد ويستخدم للجهود حتى ٥٠٠ ڤولت وتصنف المكثفات من حيث التشغيل الى :

مكثفات ثابتة القيمة .

مكثفات متغيرة القيمة

مكثفات ذات نقط تقسيم للضبط .

الاستخدامات الشائعة للمكثفات :

أ - عند تحويل التيار المتردد *(a.c)* الى تيار مستمر *(d.c)* من خلال الموحدات *(rectifier)* يستخدم مكثفات سعة من ١٠٠ - ١٠٠٠٠ ميكروفاراد تتصل على التوازى

مع الموحدات وذلك لتنعيم جهد المخرج كما فى شكل (٧٧-٣) .

ب - للتخلص من اى نتوءات (*Spikes*) غير مرغوب فيها فى دوائر التغذية والمتسببة فى حدوث نبضات بداية زائفة للدوائر الالكترونية . حيث يتم اضافة مكثفات ذات سعة من ٠١, ٠ الى ١, ٠ ميكرفاراد .

جـ - تمنع مرور اشارات *d.c*

ء - تمرر اشارات *a.c* خلال الدائرة او الى الارض .

هـ - كمرشح للأجزاء من الاشارات ذات النتوءات غير المرغوبة .

و - لتخزين شحنة لمساعدة الترانزستور فى الحفاظ على وضع الفصل او التوصيل

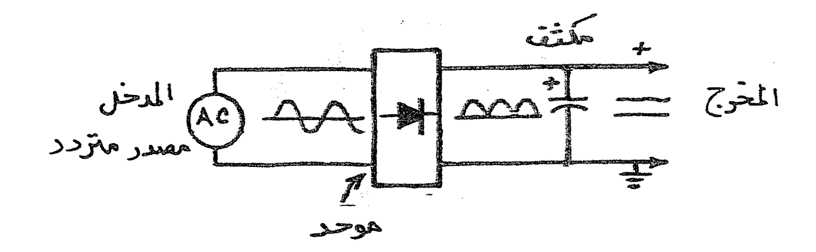
س - يستخدم المكثف مع المقاومة للحصول على تكامل او تفاضل اشارة مترددة كما فى شكلى (٧٨-٣) أ،ب

ص - للحصول على دالة زمنية ، كما فى الشكل (٧٩-٣) حيث يعمل المكثف على الشحن السريع ، بينما يتم التفريغ من خلال المقاومة *R* .

ع - يستخدم المكثف مع مقاومة وديود للحصول على اغراض مختلفة كما فى شكل (٨٠-٣) .

ومن استعراض الامثلة السابقة لاستخدام المكثف ، يتضح انه عنصر لتخزين الجهد ، ولتوضيح ذلك نجد انه عند توصيل المفتاح *S* فى شكل (٨١-٣) أ يبدأ الجهد فى الارتفاع حتى يصل الى قيمة التشبع بينما يبدأ التيار من القيمة العظمى له ثم يتناقص مع زيادة الجهد . كما هو موضحاً فى شكل (٨١-٣) ب .

ومماسبق نستخلص ان المكثفات المستخدمة فى متممات الوقاية الاستاتيكية ، تستخدم فى دوائر المتممات الزمنية - ودوائر التفاضل والتكامل - ودوائر المرشحات (*Filters*) ودوائر التنعيم (*smoothing*) .. ويعتمد اختيار النوع على الغرض من الاستخدام فمثلاً المكثفات التى تستخدم فى دوائر متممات الزمن تكون ذات استقرار (*Stability*) عالئ تيار تسرب (*Leakage current*) صغير ، ولذلك يتم اختيار مكثفات

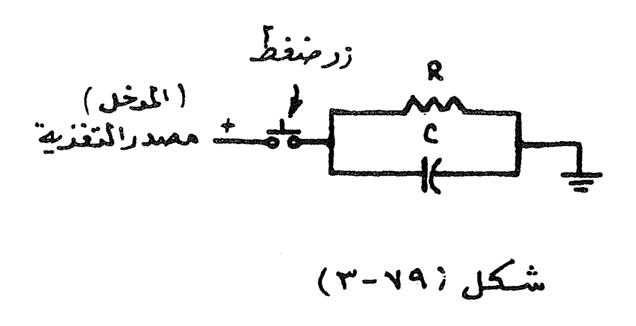


شكل (٣-٧٧)

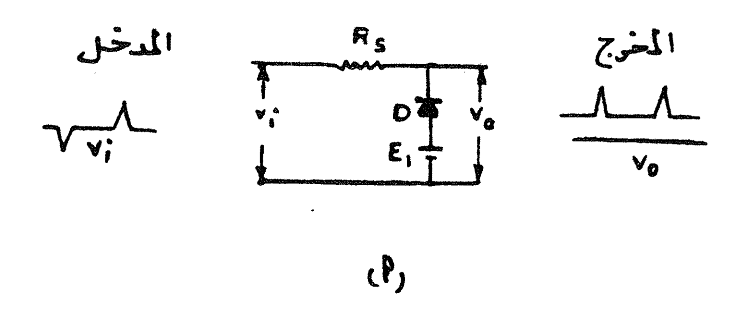
(أ)

(ب)

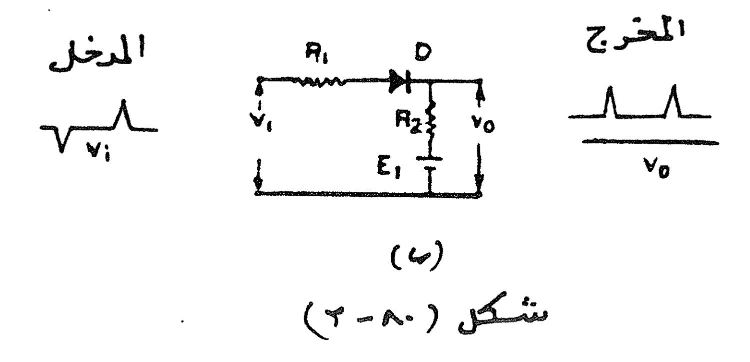
شكل (٣-٧٨)



شكل (٧٩-٣)



(أ)



(ب)

شكل (٨٠-٣)

ذات مادة عزل من البلاستيك *Plastic dielectric capacitors* .

وعند الاحتياج الى استقرار عالى جداً (اكبر من ١٪) فانه يفضل استخدام مكثفات من البولى كربونات *(Polycarbonate capacitors)* .

نادراً ماتستخدم المكثفات الكيماوية ذات سائل الكتروليتى *(Electrolytic capacitors)* فى متممات الوقاية الاستاتيكية ، فيما عدا دوائر التنغيم المغذية للمعدات ويفضل عليها استخدام مكثفات تنتانيوم الكتروليتى *(Tantal electrolytic capacitors)* للحصول على استقرار أفضل .

جـ ـ الملفات *Coils*

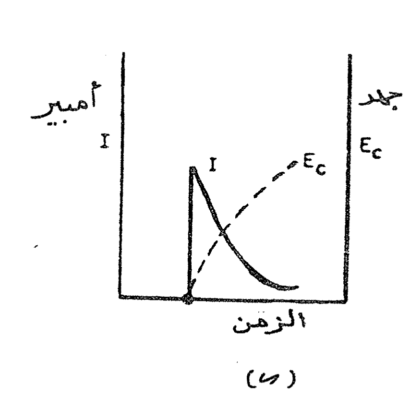
الملف عبارة عن نبيطة لتخزين التيار ، حيث انه لحظة توصيل المفتاح *(s)* بالشكل (٨٢-٣) أ يكون الملف كدائرة قصر ويمر التيار حتى يصل الى قيمة التشبع كما فى شكل (٨٢-٣) ب . وتتكون الملفات المستخدمة للترددات العالية من قلب من الحديد او الهواء ، يلف عليها السلك ويمكن ان يلف اكثر من ملف على نفس القلب . بينما نجد ان قلب الملفات المستخدمة للتردات المنخفضة تكون مصنوعة من الصلب وتستخدم ايضاً كملفات خانقة *(Chock coils)* بدوائر الترشيح .

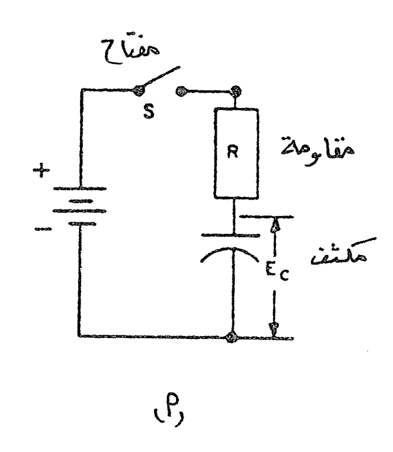
ء - المحولات *Transformers*

تستخدم محولات ذات قدرات صغيرة من ١ وات الى ٢٠٠ وات تحتوى على ملف ابتدائى وملف ثانوى مقسم *(Tapping)* ، يمكن الحصول منه على جهود منخفضة مثل ١,٥ ، ٣ ، ٦ ، ١٢ ڤولت وقد يكون المخرج مزدوجاً مثل ٦ - صفر - ٦ ڤولت ثم يوحد هذا الجهد ويستخدم لتغذية الدوائر الاكترونية .

ويمثل المحول كما فى شكل (٨٣-٣) أ

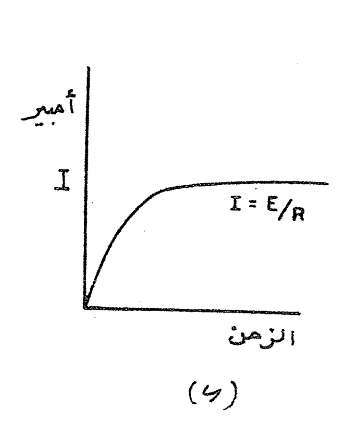
كما يوضح شكل (٨٣-٣) أ محول صغير يستخدم مع الدوائر الالكترونية .

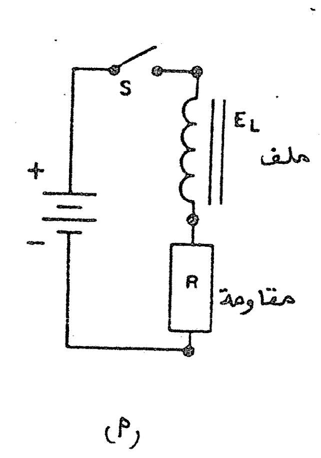




(ب) (أ)

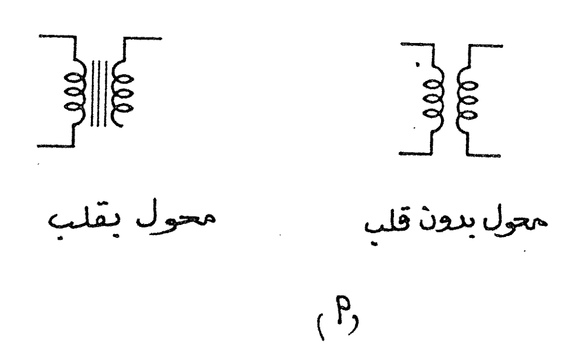
شكل (٨١ - ٣)





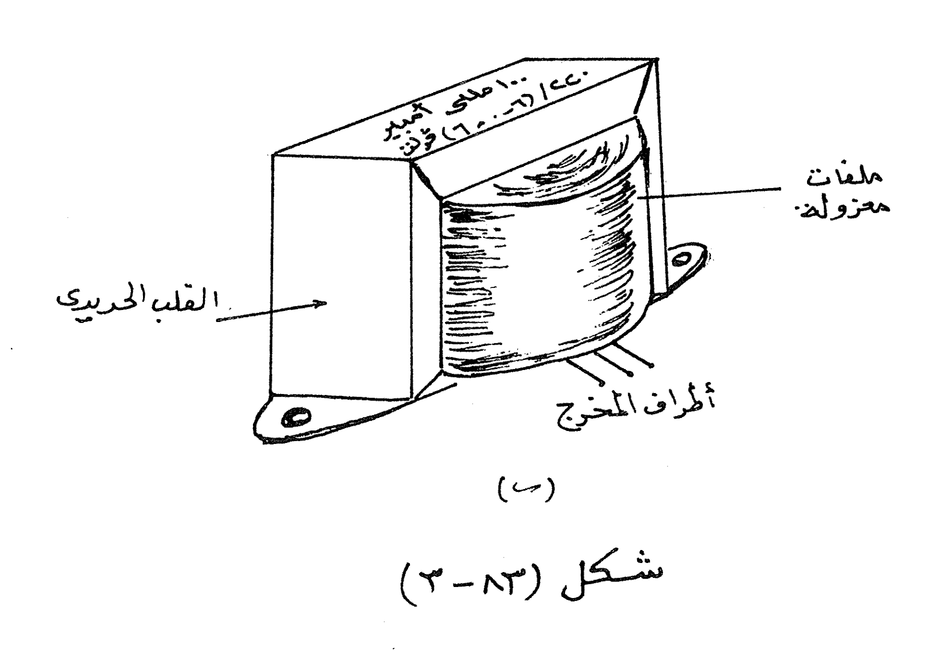
(ب) (أ)

شكل (٨٢ - ٣)



محول بقلب
محول بدون قلب

(أ)



١٠٠ مللي أمبير
ملفات معزولة
القلب الحديدي
أطراف المخرج

(ب)

شكل (٨٣ – ٣)

٣-٣ الاستخدامات المختلفة لمكونات المتممات

١ - استخدامات الديود

يستخدم الديود مع المقاومة والمكثف فى دوائر المتممات الاستاتيكية وسوف نسرد بعض الامثلة للدوائر المستخدمة :

- الديود المقصقص من نوع التوازى *Diode clipper shunt type*

عند توصيل ديود على التوازى مع المدخل بحيث يكون توصيل طرف الانود مع القطب الموجب للجهد E_1 ، كما فى شكل (٣-٨٠) أ ، فاذا كان جهد المدخل V_i اقل من E_1 فان الديود يكون موصلاً ، ويكون المخرج V_o مركبة من الجهد . يمكن التخلص من مركبة التيار المستمر *(d.c)* عن طريق استخدام وسيلة ربط تيار متردد *(a.c)* مناسبة (مثلاً اضافة مكثف) . ويمكن حدوث تقصقص *(Clipping)* للجانب الموجب للموجه وذلك بعكس الديود وقطبية الجهد E_1

- الديود المقصقص من نوع التوالى *Diode clipper series type*

يمكن الحصول على نفس النتيجة السابقة باستخدام الدائرة فى شكل (٣-٨٠) ب بحيث يكون مجموع المقاومة الامامية للديود والمقاومة R_1 اقل بكثير من المقاومة R_2

- الدائرة القابضة *Clamping circuit*

فى شكل (٣-٨٤) تم توصيل ديود على التوازى مع دائرة ربط مكونة من R,C وتسليط موجه جهد مربعة عليه . وتكون أقصى قيمة موجبة لجهد المخرج ثابتة وقريبة من الجهد الموصل على طرف الكاثود ، اى تساوى الصفر فى هذه الحالة ، وفى حالة التشغيل يجب ان يكون ثابت زمن الشحن *(Charging time constant)* يساوى $C_{rf} << T_1$

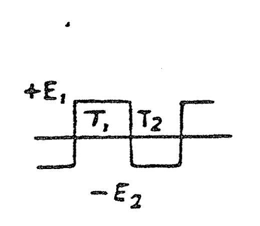
وثابت زمن التفريغ *(Discharge time constant)* يساوى :

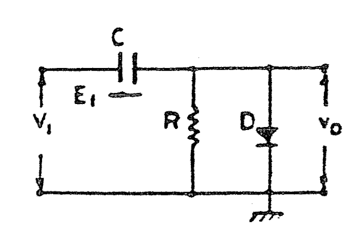
$$C \frac{R_{rb}}{R + r_b} >> T_2$$

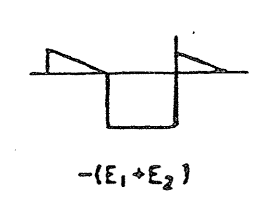
وفى الحالة التى تشحن فيها C الى E_1 ، تحتفظ بهذه القيمة طالما ان موجة المدخل موجودة ، ويجب ان نأخذ فى الاعتبار ان مستوى المخرج دائماً E_1 اقل من مستوى

قيمة الجهد المستمر بعد التوحيد (a.c) يمكن

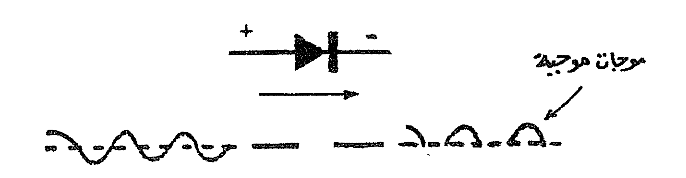
$$V_{d.c} = V_{av} = \frac{1}{T}\int_{0}^{T} V_s(t)\,dt = \frac{1}{T}\int_{0}^{T/2} V_m \sin \omega t\,dt$$



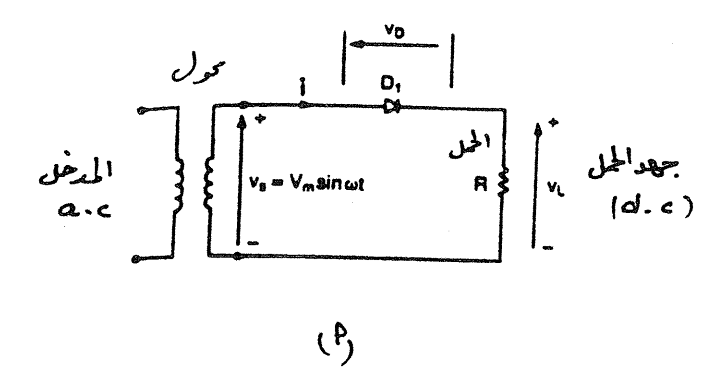


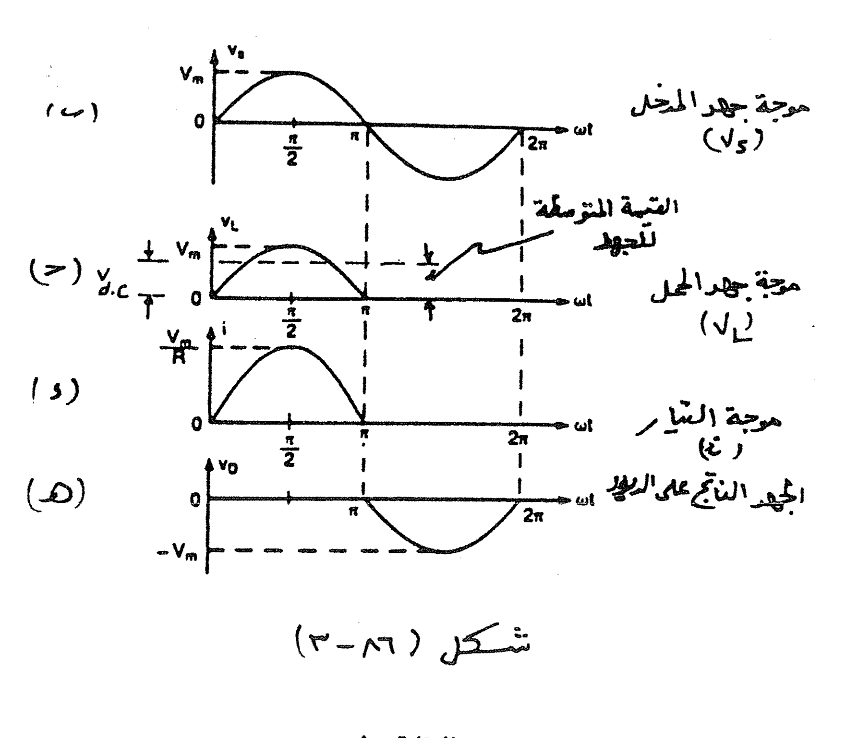


شكل (٨٤-٣)



شكل (٨٥-٣)


محول
المدخل
a.c
$v_s = V_m \sin \omega t$
D_1
الحمل
R
جهد الحمل
(d.c)
(أ)


(ب)
موجة جهد المدخل
(Vs)
(ج)
القيمة المتوسطة للجهد
موجة جهد الحمل
(VL)
(د)
موجة التيار
(i)
(هـ)
الجهد الناتج على الدايود

شكل (٨٦-٣)

حيث ان :

$$f = \frac{1}{T} \quad , \quad \omega = 2\,\pi f$$

$$V_{d.c} = \frac{V_m}{\pi} = 0.318\, V_m$$

وتكون قيمة جهد جذر متوسط المربعات (rms) لجهد الحمل (V_L)

$$V_{rms} = \left[\frac{1}{T} \int_0^{T/2} V_L^2\,(t)\, dt \right]^{1/2} = \frac{Vm}{2} = 0.5\, V_m \qquad V_L = V_m \sin \omega t$$

بينما (rms) لجهد الملف الثانوى للمحول V_s

$$V_{rms} = \left[\frac{1}{T} \int_0^{T} V_s^2\,(t)t\, dt \right]^{1/2} = \frac{Vm}{\sqrt{2}} = 0.707\ V_m$$

ولكن يعيب هذه الطريقة ان التيار المستمر الناتج يحتوى على توافقيات كثيرة

ب - موحد نصف موجه مع حمل مكون من مقاومة وملف

Half wave rectifier with RL load

فى شكل (٨٧-٣) أ تم توصيل حمل مكون من R,L ونتيجة لوجود حمل حثى *(Inductive load)* فان الديود D_1 يظل موصلاً بعد الفترة ١٨٠° الى ان تصل قيمة التيار للصفر ، ويوضح شكل (٨٧-٣) ب موجه جهد المخرج ، وبالتالى تيار المخرج ، ثم موجه جهد الديود V_D .

ويلاحظ ان القيمة المتوسطة لجهد المخرج تساوى

$$V_{d.c} = \frac{1}{2\pi} \int_0^{\pi+\theta} V_m \sin \omega t\, d(\omega t)$$

$$= \frac{V_m}{2\pi} \left[1 - \cos\,(\pi + \theta) \right]$$

وتساوى الزاوية θ الموضحة بشكل (٨٧-٣) ب

$$\theta = \tan^{-1}\left[\frac{\omega L}{R}\right], \ \omega = 2\pi f$$

وعلى ذلك يمكن الحصول على اقصى قيمة للجهد V_{dc} عندما تكون θ مساوية للصفر .

وللحصول على ذلك يضاف ديود D_m كما فى شكل (٨٧-٣) أ ويعرف هذا الديود بالديود المنطلق *(Freewheeling diode)* ويكون عملة منع وصول الجهود السالبة للحمل وبالتالى نحصل على موجات لجهد المخرج كما فى شكل (٨٧-٣) جـ ويصبح D_1 موصلاً لمدة نصف دورة من صفر الى ١٨٠° بينما D_m يكون موصلاً فى نصف الدورة التالية .

جـ- موحد للموجه الكاملة باستخدام محول ذى طرف اوسط

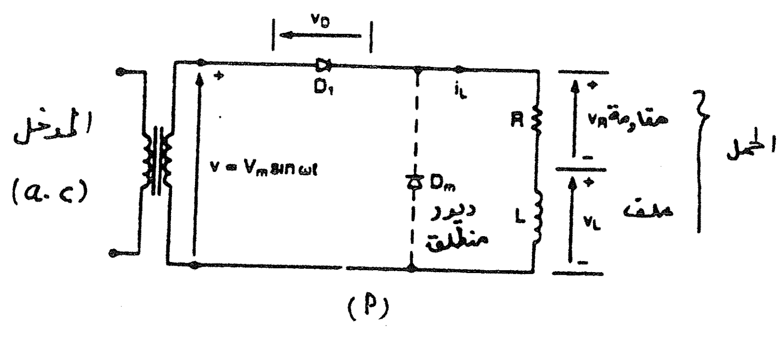
Full-wave rectifier with center-tapped transformer

يمكننا الحصول على موجه كاملة موحدة باستخدام ديودان ومحول ذى طرف اوسط على ان نأخذ المخرج من خلال المقاومة *(R)* كما فى شكل (٨٨-٣) أ تمثل نصف ملفات المحول مع الديود موحد نصف موجه ، وبذلك نحصل على موجه جهد مخرج V_L كما فى شكل (٨٨-٣) ب ويلاحظ فى هذه الحالة ان التيار المستمر *(d.c)* لايمر خلال المحول ، وبذلك لاتحدث مشاكل نتيجة تشبع قلب المحول بالتيار المستمر والقيمة المتوسطة لجهد المخرج تساوى :

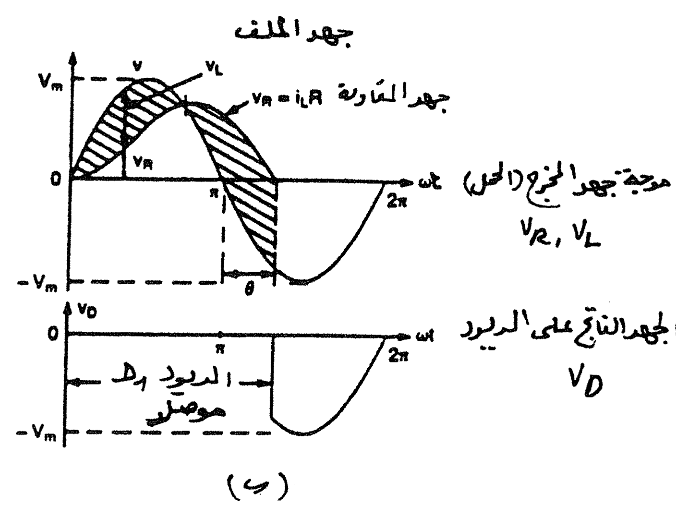
$$V_{dc} = \frac{2}{T}\int_{0}^{T/2} V_m \sin \omega t \ d(\omega t)$$

$$= \frac{2\,V_m}{\pi} = 0.6366\,V_m$$

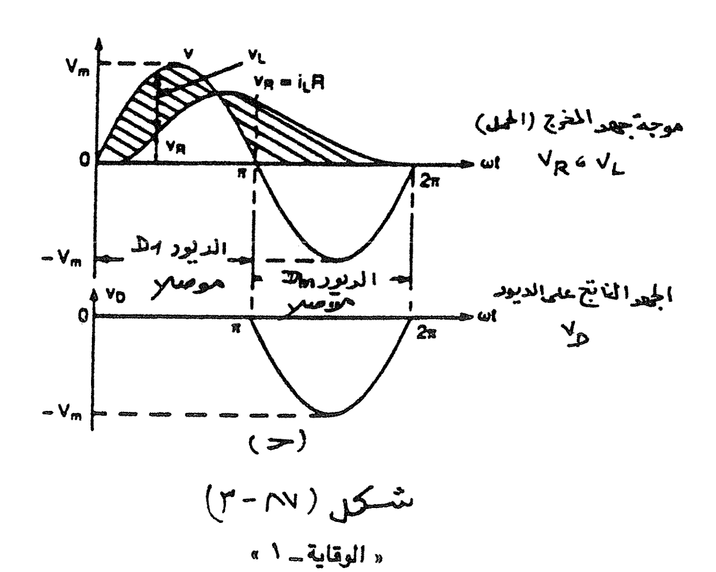
ويلاحظ ان قيمة ذروة الجهد العكسى *Peak inverse voltage* للديود الواحد يساوى ضعف القيمة Vm .



(أ)



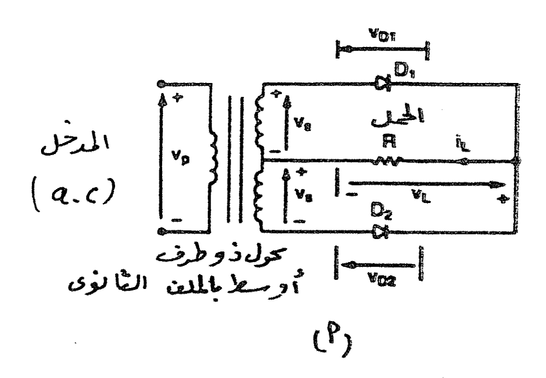
(ب)

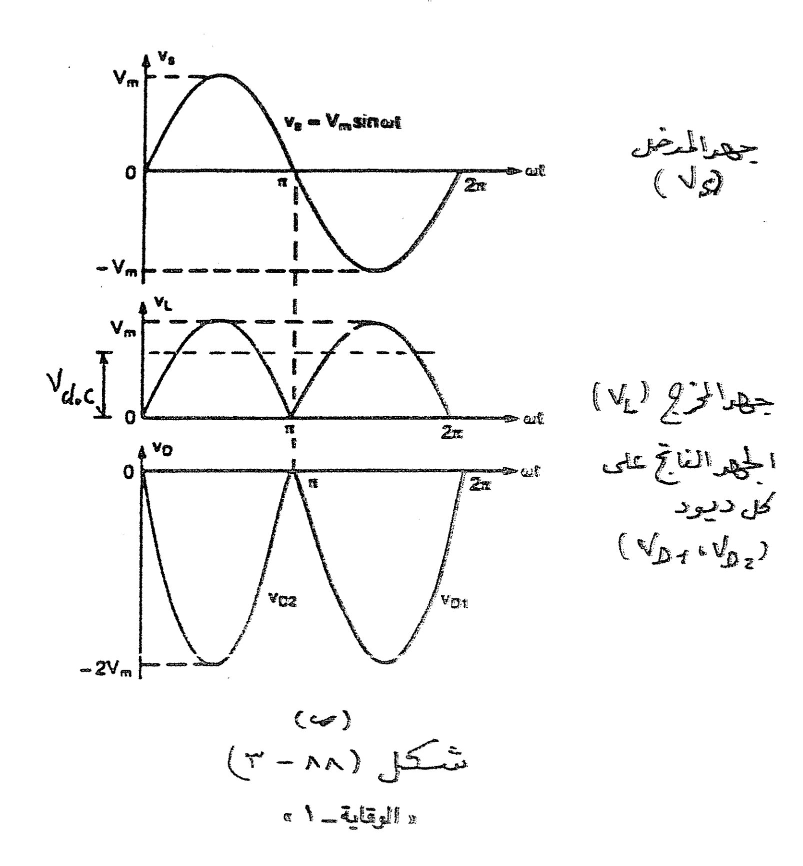


(ج)

شكل (٨٧ - ٣)

« الوقاية ـ ١ »





(ب)

شكل (٨٨ - ٣)

« الوقاية - ١ »

د - قنطرة توحيد للموجه الكاملة *Full wave bridge rectifier*

إذا استخدمنا محول مع أربعة ديودات ، اى قنطرة توحيد ، كما فى شكل (٨٩-٣) أ فخلال النصف دورة الموجبة ، يمر تيار الحمل من الملف الثانوى للمحول الى ديود D_1 ، وديود D_2 ، ثم الحمل الى الملف الثانوى مرة أخرى . بينما فى نصف الدورة السالبة يمر الحمل خلال D_4, D_3 ويوضح شكل (٨٩-٣) ب موجات جهد الحمل والجهد خلال الديودات .

ويلاحظ فى هذه الحالة ان قيمة اقصى جهد عكسى للديود الواحد يساوى V_m فقط

هـ - دائرة قنطرة توحيد ثلاثية الاوجه *Three phase bridge rectifier circuit*

يفضل استخدام هذه الدائرة للحصول على جهد تيار مستمر ، حيث انه يحتوى على اقل نسبة من التشوهات ويكون قريباً بقدر الامكان من القيمة الثابتة .

ويوضح شكل (٩٠-٣) أ طريقة التوصيل على قنطرة تحتوى على ستة ديودات ويمكن تخفيض مصدر التغذية من خلال محول ذى توصيلة اتجاهية نجمة ـ دلتا

فاثناء مرور الموجه بين الوجهين a,c يمر تيار خلال الديودين D_1, D_2

بينما يمر التيار خلال الديودين D_2, D_3 اثناء مرور الموجه بين الوجهين b,c

ويمر التيار خلال الديودين D_3, D_4 ، اثناء مرور الموجه بين الوجهين b,a ... وهكذا

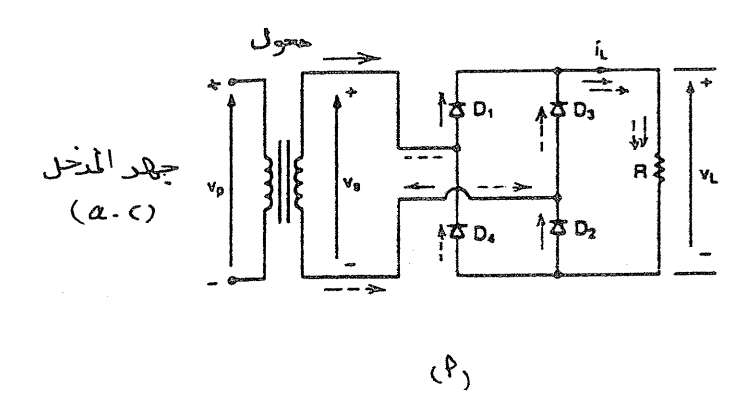
ويوضح الشكل (٩٠-٣) ب الديودات الموصلة أثناء مرور الموجات المختلفة للأوجه ، وكذلك الشكل النهائي لموجة الحمل .

ويوضح الشكل (٩٠-٣) جـ التيار المار بالديود رقم ١

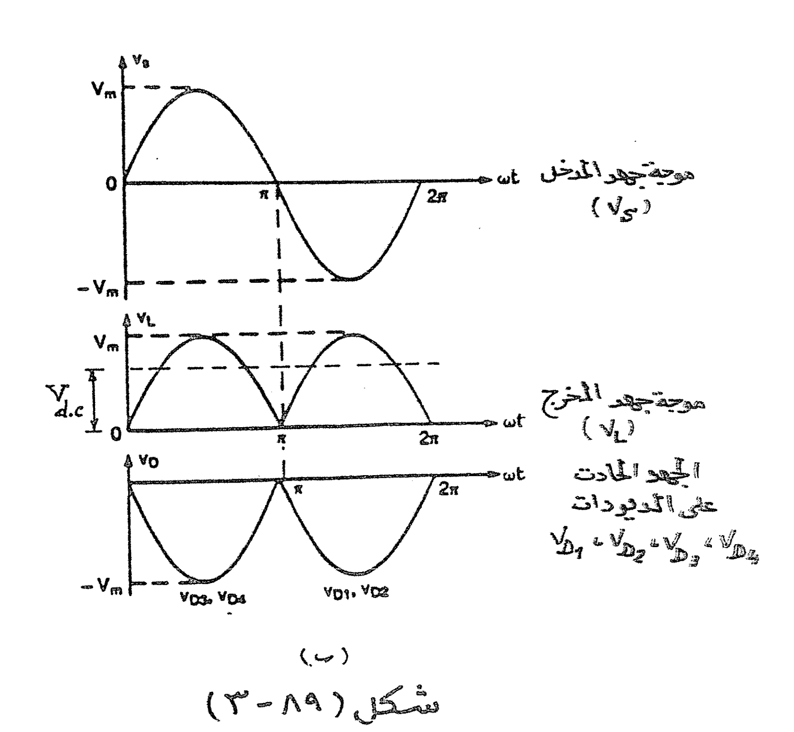
الجدول التالى يوضح مقارنة بين مقننات قنطرة أحادية الوجه وقنطرة ثلاثية الاوجه

جدول (٦-٣)

نوع الدائرة	أقصى جهد متردد $V_{a.c}$	الجهد المستمر $V_{d.c}$	التيار المستمر $I_{d.c}$	تردد التموج ripple freq.	عامل التموج ripple factor
قنطرة احادية الوجة	V_m	$\frac{2V_m}{\pi}$	$\frac{2I_m}{\pi}$	2f	0.482
قنطرة ثلاثية الاوجه	V_m	$\frac{3\sqrt{3}\,V_m}{\pi}$	$\frac{3I_m}{\pi}$	6f	0.055

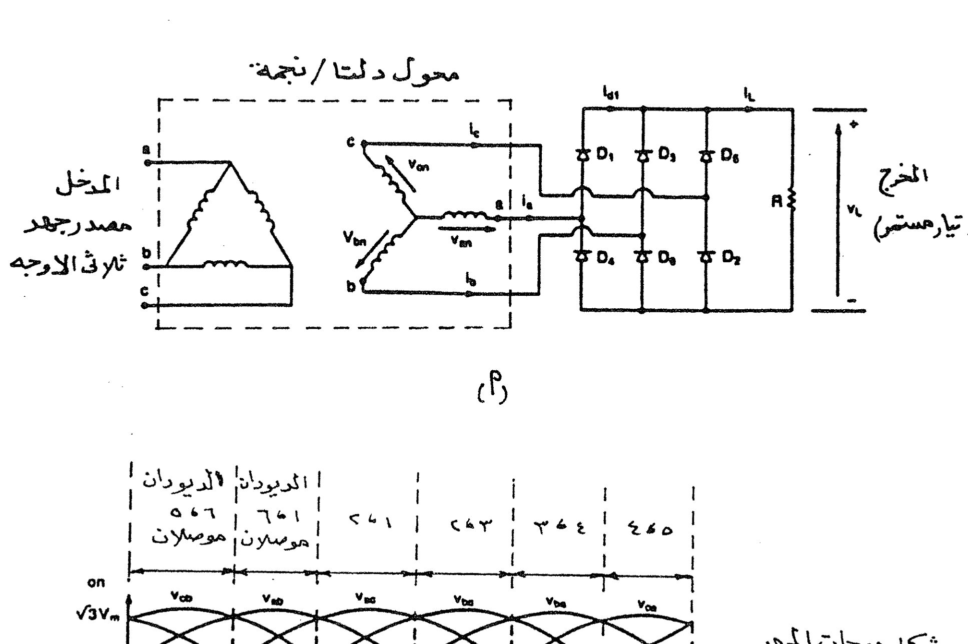

محول
جهد المدخل
(a.c)
v_p
v_s
i_L
D_1
D_3
D_4
D_2
R
v_L

(أ)

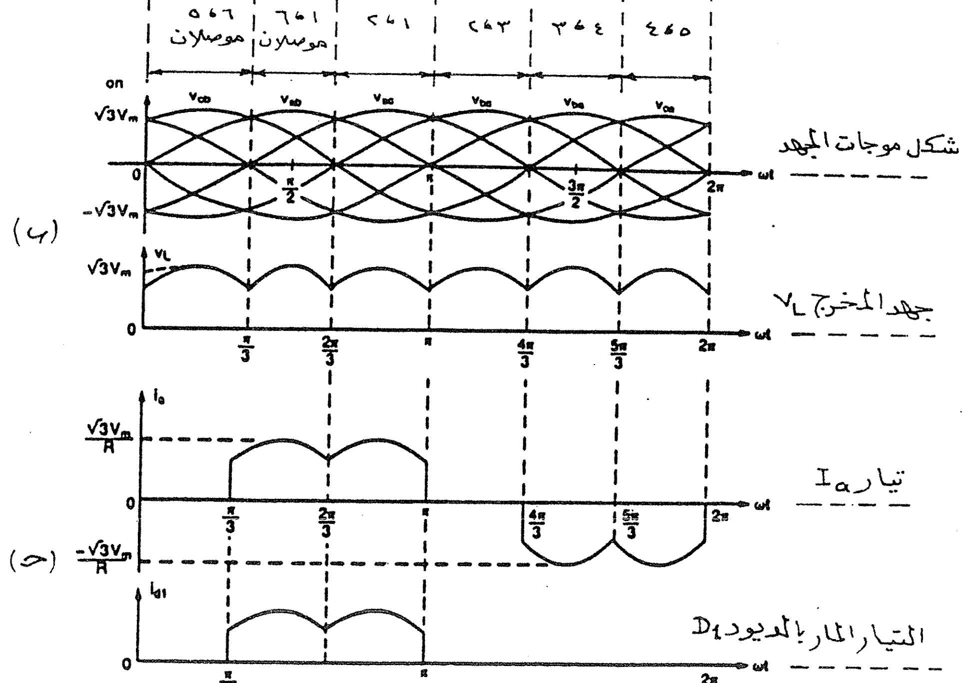

v_s
V_m
0
$-V_m$
π
2π
ωt
موجة جهد المدخل
(V_S)
v_L
$V_{d.c}$
موجة جهد المخرج
(V_L)
v_D
الجهد الحادث
على الديودات
V_{D1} ، V_{D2} ، V_{D3} ، V_{D4}
v_{D3}، v_{D4}
v_{D1}، v_{D2}

(ب)

شكل (٨٩-٣)



(أ)



(ب)

(حـ)

شكل (٩٠-٣)

« الوقاية – ١ »

دوائر التنعيم *Smoothing circuits*

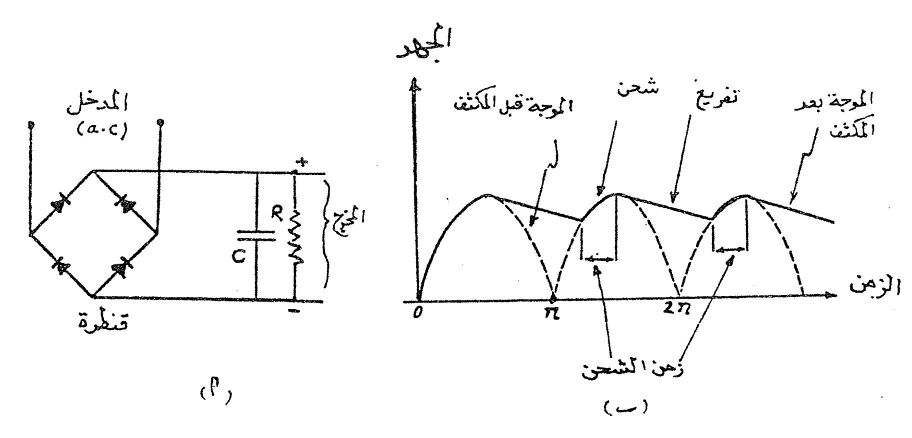
يلاحظ فى جميع الاشكال السابقة والخاصة بدوائر التوحيد ان شكل موجة التيار المستمر *(d.c)* عبارة عن أنصاف موجات موجبة ، يتولد فيها توافقيات غير مرغوبة يمكن ازالتها باستخدام دوائر التنعيم فنحصل على موجات محسنة قريبة جداً من الخط المستقيم ، وتوجد طرق متعددة لتحسين موجات التوحيد سنذكر فيما يلى بعضها .

- يوضح الشكل (٩١-٣) أ دائرة تنعيم عبارة عن مكثف فقط يوصل على التوازى مع الحمل وتعتمد الفكرة اساساً على شحن المكثف خلال صعود الموجة ، بينما يتم التفريغ البطئ عند هبوط الموجة ، ويمكن التحكم فى الشكل النهائى للموجة عن طريق قيمة ثابت الزمن ، وهو النسبة بين مقاومة الحمل R وسعة المكثف C ويكون الشكل النهائى للموجة كما فى شكل (٩١-٣) ب .

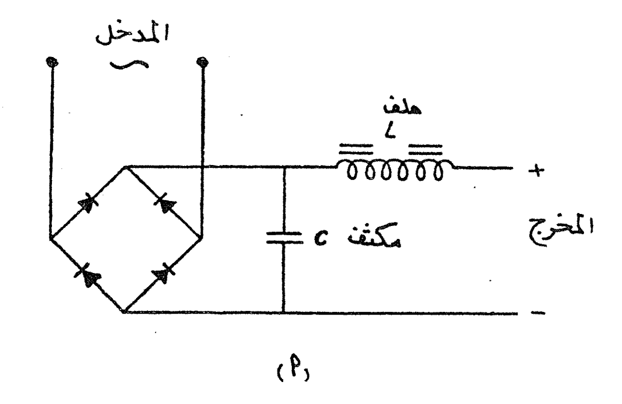
- يوضح الشكل (٩٢-٣) دائرة تنعيم عبارة عن ملف ومكثف يمكن توصيلهما بأى من الطريقتين ، اما L على التوازى مع الحمل او C على التوازى مع الحمل ، بهذه الطريقة يمكن الحصول على موجة محسنة بدرجة عالية لان الملف يولد *emf* (قوة دافعه كهربية) عكسية أثناء تفريغ المكثف وتكون نسبة التشوهات فى الموجة النهائية حوالى ٥ ٪ .

وللحصول على نسبة تشوهات منخفضة جداً يمكن ان تصل الى قيمة اقل من ١ ٪ ويصبح التيار المستمر *d.c* قريباً من الخط المستقيم وذلك عن طريق توصيل اكثر من ملف ومكثف اما على شكل حرف T او على شكل حرف π كما فى شكل (٩٣-٣) ومن الطرق غير الشائعة استخدام محول ساند *(Bucking transformer)* كما فى شكل (٩٤-٣) ، حيث أنه يتخلص من المركبات الترددية *(a.c)* . بينما تعتبر طريقة الوجه المشطور *(Phase split)* طريقة سريعة ، حيث يتم تغيير زاوية الموجه قبل عملية التوحيد ، فمثلاً فى شكل (٩٥-٣) استخدامنا الديودين D_1, D_3 مع محول له طرف أوسط للحصول على موجة كاملة ، كما ذكرنا سابقاً ، مع توصيل حمل الدائرة بين نقطة تجميع الديودين والطرف الاوسط للمحول وفى هذا الشكل نجد إزاحة الموجه بزاوية °٩٠ متقدم ، °٩٠ متأخر عن طريق الفرعين أب ، جـ والتى تحتوى على R_2, C_2 & R_1, C_1 وذلك للحصول على توحيد أسرع .

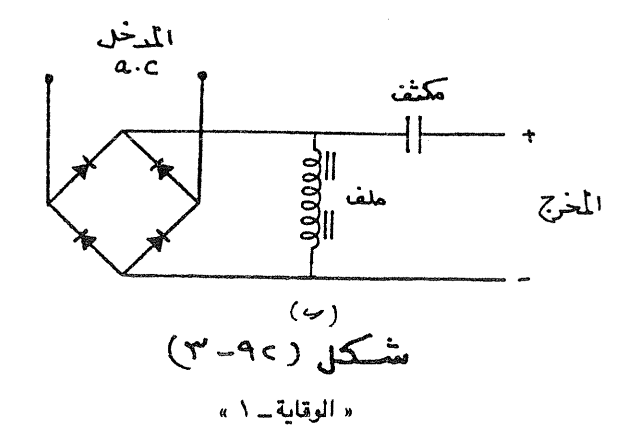
يتم عمل ازاحة بزاوية °١٢٠ متأخر ، °١٢٠ متقدم ، كما فى شكل (٩٦-٣) ، عن



شكل (٩١- ٣)

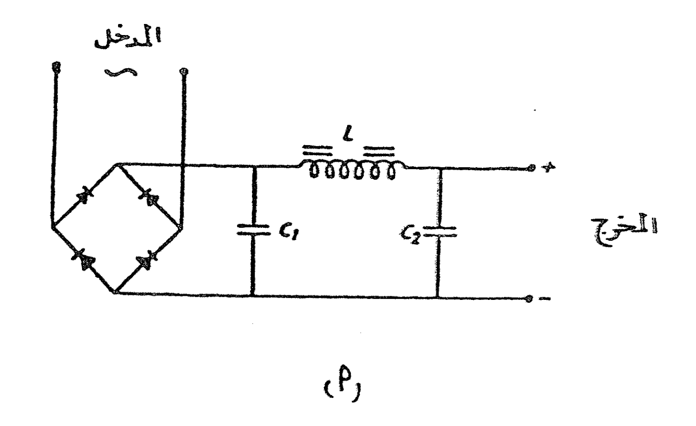


(أ)



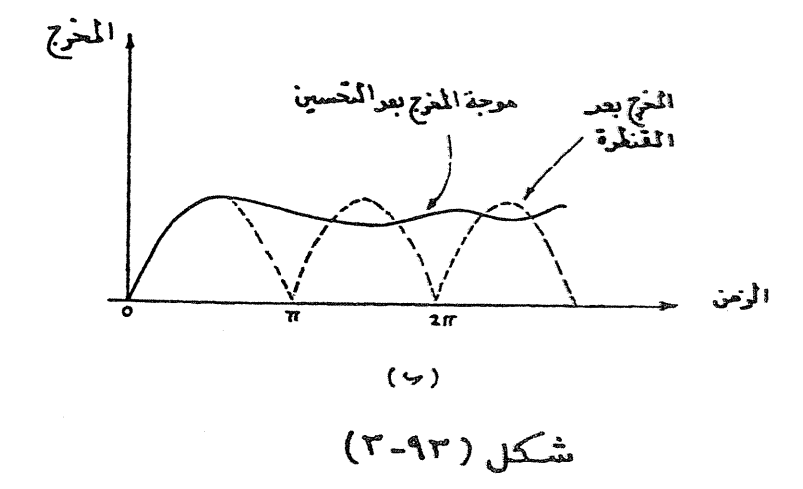
(ب)

شكل (٩٢- ٣)



المدخل
L
C_1
C_2
المخرج

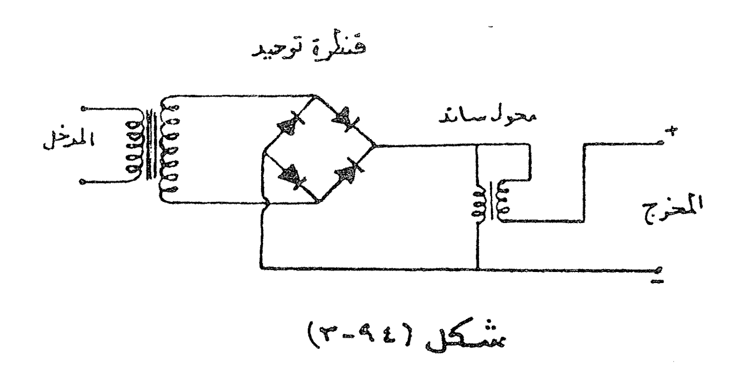
(أ)



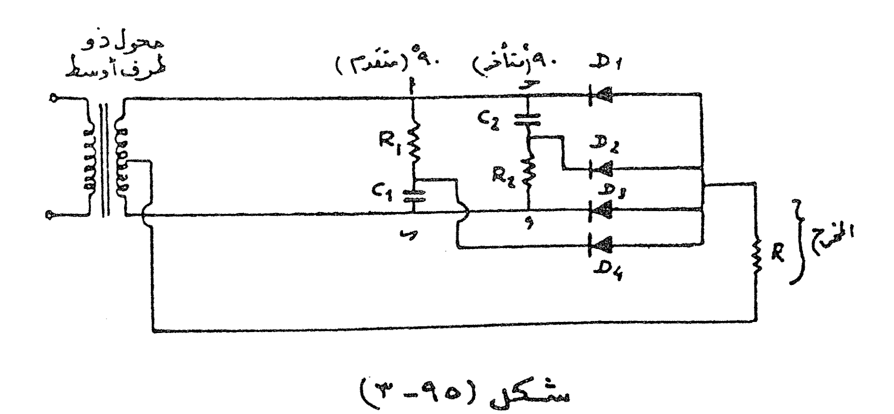
المخرج
موجة المخرج بعد التحسين
المخرج بعد القنطرة
الزمن
0
π
2π

(ب)

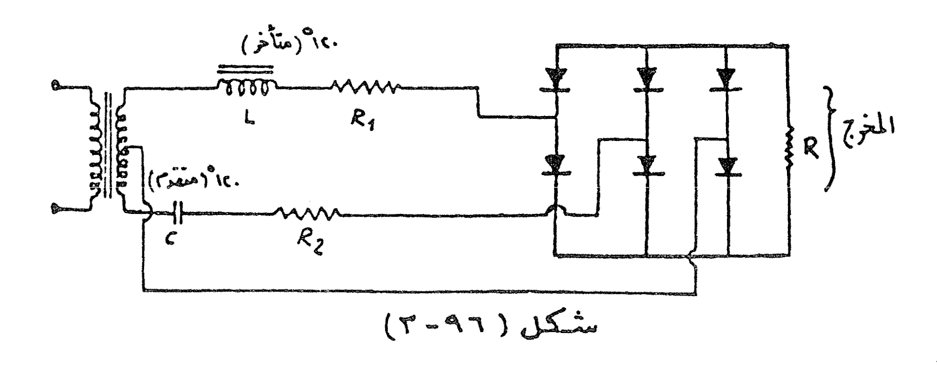
شكل (٣-٩٣)



شكل (٩٤-٣)



شكل (٩٥-٣)



شكل (٩٦-٣)

طريق C,R_2 , L,R_1 وهذه الطريقة تقلل توافقيات التيار بعد التنعيم بدرجة عالية جداً.

٢ - إستخدامات الزينر ديود *Zener diode*

(او ديود المرجع) *(or Reference diode)*

لقد ذكرنا سلفاً ، أنه عند توصيل الزينر ديود فى دائرة فانه يعمل فى الاتجاه الامامى ، بالاضافة الى عمله فى الاتجاه المعاكس عند جهد الانكسار والذى يطلق عليه جهد الزينر ديود او جهد المرجع ومن اهم استخداماته الآتى :

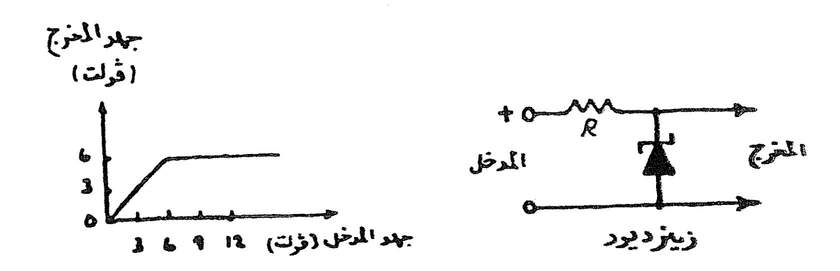
- منظم للجهد *Stabilization or voltage regulator*

عند توصيل الزينر ديود بطريقة عكسية مع مقاومة وتسليط جهد مدخل V_i على الدائرة ، كما فى شكل (٩٧-٣) وإذا كان جهد الزينر ديود ٦ ڤولت مثلاً ، وارتفع جهد المدخل الى قيمة اكبر من جهد الزينر ديود فان جهد المخرج يظل ثابتاً ويساوى ٦ ڤولت ويوضح الشكل (٩٨-٣) أ استخدام زينر ديود لتنظيم جهد مخرج قنطرة تيار مستمر *(d.c)* ، ويلاحظ انه يجب توصيل الزينر ديود بطريقة عكسية (لمرور تيار عكسى) .

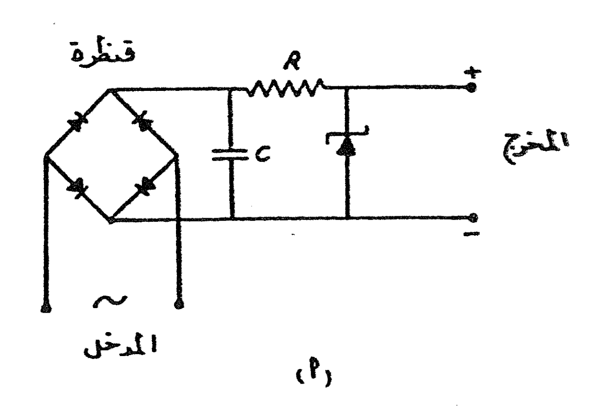
وللحصول على تنظيم افضل للجهد يفضل توصيل اكثر من زينر ديود ، على التعاقب، كما فى شكل (٩٨-٣) ب .

لكى نصل الى كفاءة تنظيم عالية يفضل استخدام ترانزستور او اكثر مع زينر ديود وذلك عن طريق تقليل التيار خلال الزينر ديود ، ويوضح الشكل (٩٩-٣) دائرة تنظيم باعث تابع *(Emitter-Follower regulator)* وسمى كذلك لان جهد المخرج يتبع جهد المرجع ، وهو جهد الزينر ديود ، ويضاف ايضاً مرشح لتقليل اى تموجات *(Ripple)* على موجة المخرج وهو عبارة عن مكثف ذى قيمة كبيرة . وتستخدم هذه الدائرة فى تطبيقات متعددة ، خاصة اذا كانت مقاومة المخرج لدائرة لايمكن ان تقل عن الحدود المرغوبة الدقيقة وفى هذه الحالة تعطى كفاءة تشغيل عالية .

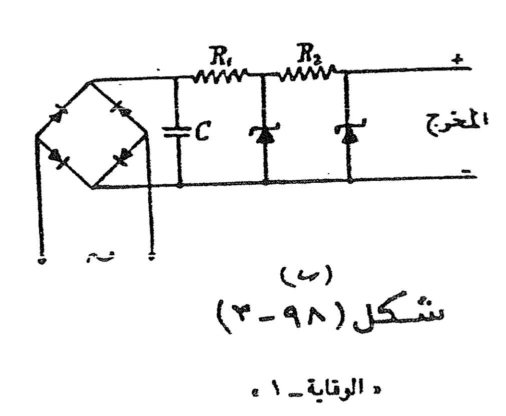
وقد نقوم أحياناً بعمل تغذية خلفية سالبة *(Negative feedback)* لدائرة منظم لسهولة معالجة اى قيم لمقاومة المخرج غير مرغوبة بالاضافة الى تقليل قيم التموجات بقدر الامكان . تتضح هذه الفكرة فى الشكل (١٠٠-٣) أ وهى دائرة منظم ذو عروة مغلقة *(Closed loop regulator)* ، حيث يستخدم جـزء من جهـد المخـرج عبارة عن ηV_o .



شكل (٩٧-٣)



(أ)



(ب)

شكل (٩٨-٣)

(حيث η كسر عددى ، V_o جهد المخرج) يقارن هذا الجهد مع جهد المرجع V_{ref} (جهد الزينر ديود) ، ثم يكبر الفرق بين الجهدين $(\eta V_o - V_{ref})$ ويستخدم للتحكم فى منظم توالى *(Series regulator)* والذى بدوره ينظم جهد المخرج . ويلاحظ الرسم التوضيحى لهذه الدائرة كما فى شكل (١٠٠-٣)ب ، حيث يمثل الترانزستوران T_1,T_2 مكبر تفاضلى *(Differential amplifier)* يقوم بعمليتى المقارنة والتكبير التى ذكرت سابقاً .

يوضح شكل (١٠١-٣) إستخدام اخر للزينر ديود حيث تم توصيله مع ترانزستور باعث مشترك ، لتثبيت جهد حياز المدخل (بين القاعدة والباعث) .

كذلك يمكن استخدام الزينرديود كما فى شكل (١٠٢-٣) ، لضمان عدم الارتفاع الموجب للجهد . بين المجمع والباعث $(-V_{CE})$ عند الجهد $(-V_c + V_D)$ ، حيث V_D هو جهد الانهيار العكسى للزينر ديود .

ب- وقاية المكونات ذات الحساسية للجهد *(Protect voltage sensitive components)* لوقاية اجهزة القياس نقوم عادة بتوصيل زينر ديود مع العنصر الحساس لقياس الجهد ، كما فى شكل (١٠٣-٣) ، فيعمل على امرار اى تيار زائد عن الحد المقنن دون ان يمر فى ملفات جهاز القياس اى يقى الجهاز ضد الارتفاع المفاجئ فى الجهد ، كما يقيه من اى اوضاع قياس خاطئة .

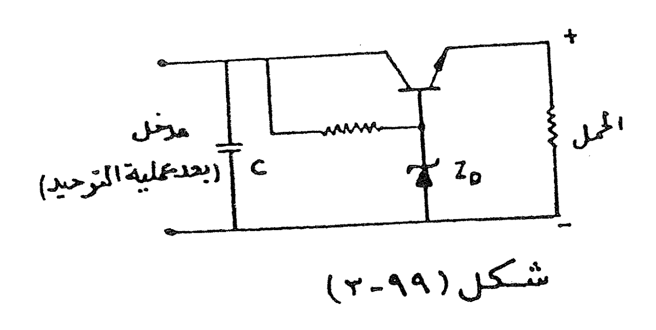
٣ - استخدامات المقاومة والمكثف

- دائرة التفاضل *Differentiating circuit*

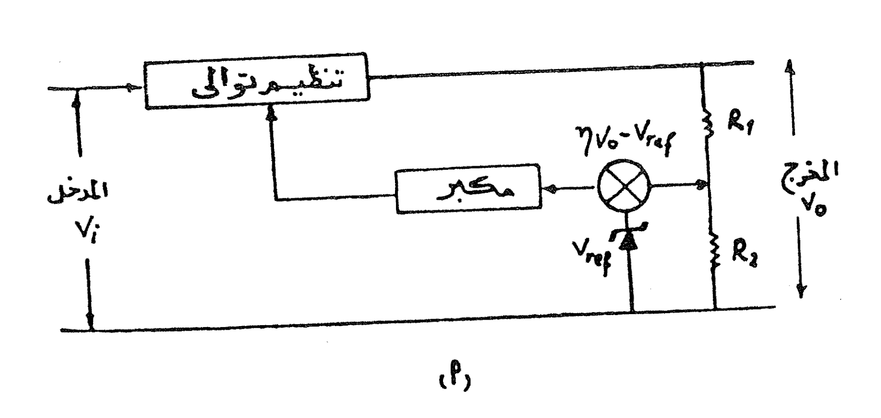
تتكون دائرة التفاضل فى ابسط صورها من مقاومة R ومكثف C كما فى شكل (١٠٤-٣) وبفرض ان مصدر تغذية هذه الدائرة عبارة عن موجه جهد تخضع للعلاقة الآتية

$$V_i = V e^{j\omega t}$$

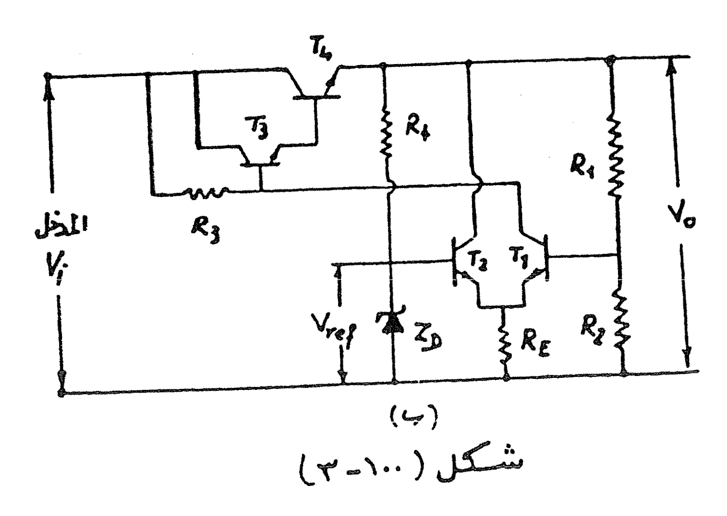
فيكون جهد المخرج (بدلالة C,R) عبارة عن



شكل (٩٩-٣)

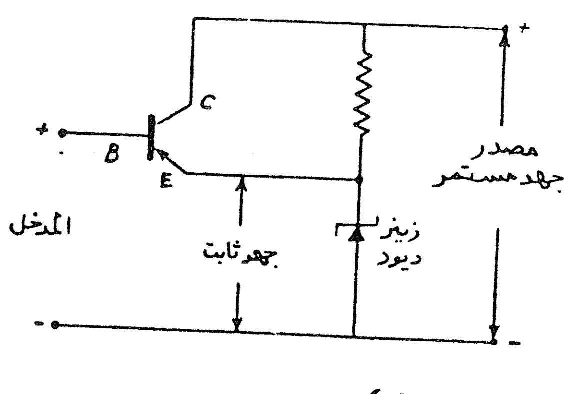


(أ)

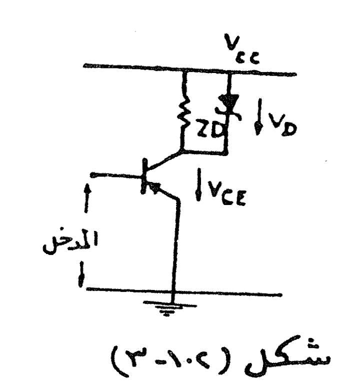


(ب)

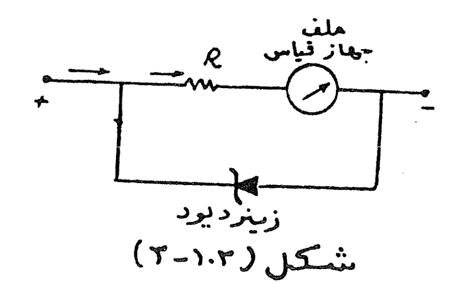
شكل (١٠٠-٣)



شكل (١٠١ - ٣)



شكل (١٠٢ - ٣)



شكل (١٠٣ - ٣)

$$V_o = \frac{R}{R - \frac{j}{\omega C}} V_i$$

$$= \frac{j\omega RC}{j\omega RC + 1} Vi$$

- فإذا فرضنا ان قيمة ωRC اقل بكثير من الواحد الصحيح ، فان مقام المعادلة السابقة يؤول الى الواحد الصحيح وتصبح المعادلة

$$V_o = j\omega RC\, V_i = RC \frac{dVi}{dt}$$

اى ان المخرج عبارة عن تفاضل المدخل مضروباً فى (RC) .

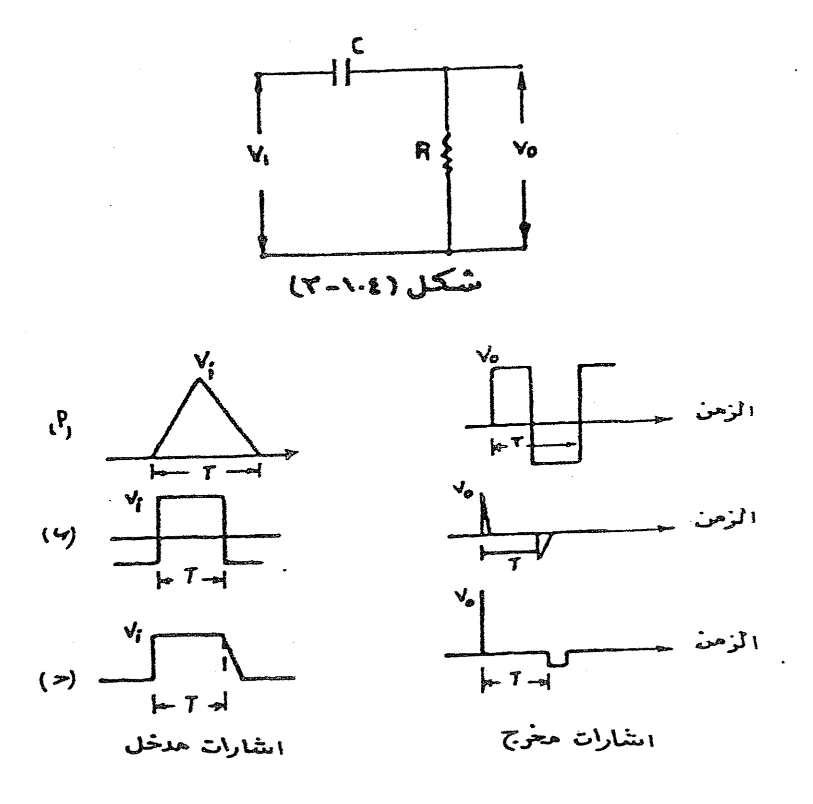
ولكى نحصل على الشرط ωRC اقل من الواحد الصحيح يجب ان تكون موجة المدخل عبارة عن موجة جيبية لها تردد $< \frac{1}{RC}$ ، وبمعنى آخر ان موجة المدخل يجب الا تتغير تغيراً كبيراً خلال الزمن RC ويحدث التفاضل للنبضة فقط ، إذا كانت طويلة بالمقارنة بالزمن RC .

ولتوضيح ذلك :

فى شكل (١٠٥-٣)أ باعتبار ان موجة المدخل عبارة عن موجة مثلثة اقصى قيمة لها تساوى ١٠ , ٠ ڤولت وزمن الدورة الكلى ٢ × ١٠ $^{-٣}$ ثانية .

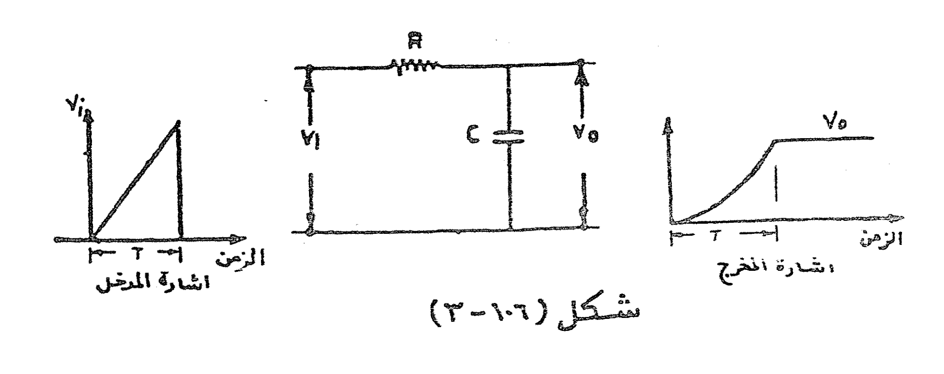
وللحصول على شكل موجة المخرج يجب تفاضل موجة المدخل $\frac{dV_i}{dt}$ ، وبمعرفة قيم R,C للدائرة (RC تساوى ١٠ $^{-٥}$ ثانية) فانه يمكن الحصول على موجة المخرج على شكل موجة مربعة .

ويوضح شكل (١٠٥-٣) ب انه اذا كانت موجة المدخل على شكل موجة مربعة او مستطيلة *(Rectangular pulse)* وزمن الدورة t ، فان موجة المخرج تكون على شكل نبضات بينهما زمن t ايضاً كما فى الشكل .



شكل (١٠٤-٣)

شكل (١٠٥-٣)



شكل (١٠٦-٣)

ويوضح شكل (٥-١٠-٣) جـ موجة مدخل عبارة عن موجة مستطيلة ولكن نهايتها مصحوبة بانخفاض على شكل مثلث ، ولذلك فان موجة المخرج تكون كما فى الشكل .

دائرة التكامل *Integrating circuit*

تتكون دائرة التكامل ، ببساطة من مقاومة R ومكثف C كما فى الشكل (٦-١٠-٣) مع اعتبار مصدر تغذية هذه الدائرة عبارة عن موجة جهد تخضع للعلاقة الآتية :

$$V_i = V e^{j\omega t}$$

فيكون جهد المخرج (بدلالة R,C) عبارة عن

$$V_o = \frac{\frac{-j}{\omega c}}{R - \frac{j}{\omega c}} V_i$$

$$= \frac{1}{j\omega RC + 1} V_i$$

ولو فرضنا ان قيمة ωRC كبيرة جداً عن الواحد الصحيح فان

$$V_o = \frac{1}{j\omega RC} V_i$$

$$= \frac{1}{RC} \int Vi \ dt$$

اى ان المخرج عبارة عن تكامل المدخل مقسوماً على (RC) .

وللحصول على الشرط ωRC كبيرة جداً ، فمعنى ذلك ان يكون التردد ω اكبر من $\frac{1}{RC}$ اى ان التردد يكون صغيراً جداً .

ويوضح شكل (٦-١٠-٣) موجه مدخل مثلثة ، وموجة المخرج منحنى ثم خط ثابت .

٤ - استخدامات الترانزستور

يستخدم الترانزستور لغرضين : الاول كمفتاح فصل وتوصيل والثانى كمكبر ،

ويستخدم الترانزستور بتوسيع فى دوائر متممات الوقاية الاستاتيكية كمفتاح فصل وتوصيل ، ويكون الترانزستور عادة من النوع N-P-N ذى توصيلة باعث ـ مشترك .

ويتم عادة توصيل الحمل R على التوالى بطرف المجمع ، كما فى شكل (٧-١٠-٣) أ وتكون العلاقة بين تيار المجمع i_C والجهد بين المجمع والباعث V_{CE} عند تسليط قيم متغيره من تيار القاعدة i_B كما فى شكل (٧-١٠-٣) ب ، ونحصل على خط التشغيل من العلاقة الآتية :

$$V_{CE} = V_{CC} - i_C R_L$$

ومعه تتحقق النقطتين : فعند i_c تساوى صفراً يكون $V_{CE} = V_{CC}$ ، وعند V_{CE} يساوى صفر يكون $i_c = V_{CC} / R_L$

ينقسم شكل (٧-١٠-٣) ب الى ثلاثة مناطق هى :

– المنطقة رقم ١ : وهى المنطقة تحت اول منحنى ، لاول قيمة لتيار القاعدة i_{B1} والذى يبدأ عنده عمل الترانزستور ، ويقوم الترانزستور ، فى هذه المنطقة مقام دائرة مفتوحة اى مفتاح فى وضع الفصل *(OFF)*

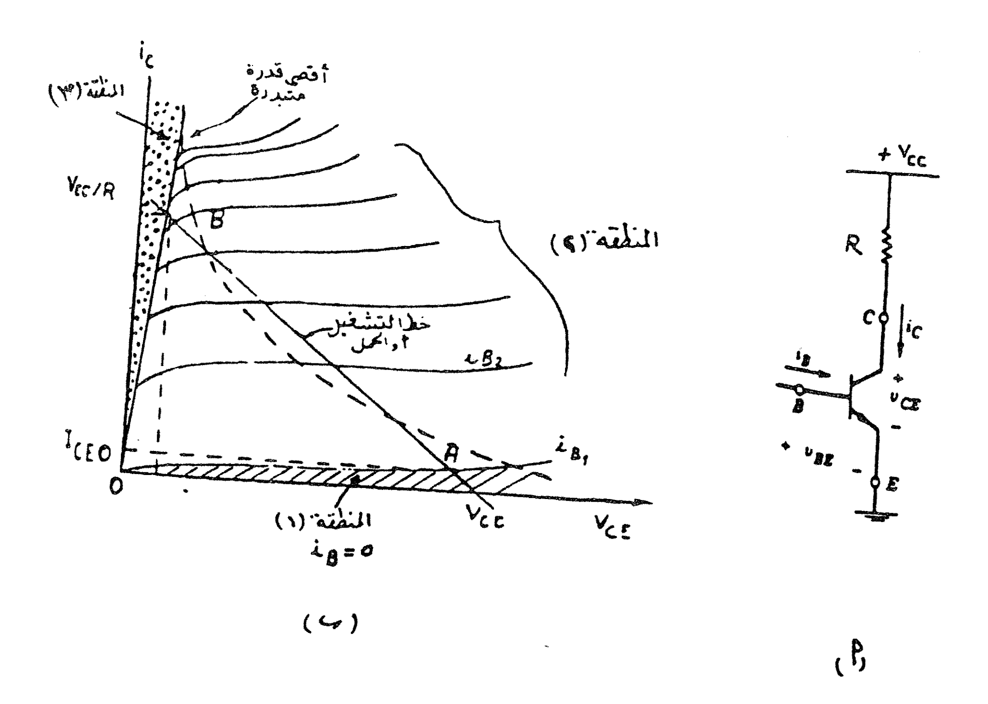
– المنطقة رقم ٣ : وهى مايعرف بمنطقة تشبع الترانزستور ، وهى المنطقة على يسار المنحنيات ، ويقوم الترانزستور ، فى هذه المنطقة مقام دائرة قصر اى مفتاح فى وضع التوصيل *(ON)* .

– المنطقة رقم ٢ : وهى المنطقة المحصورة بين المنطقتين ١ ،٣ ويعمل فيها الترانزستور كمكبر *(Amplifier)* واحياناً يعرف بمنطقة المقاومة المتغيرة *(Variable resistor)* .

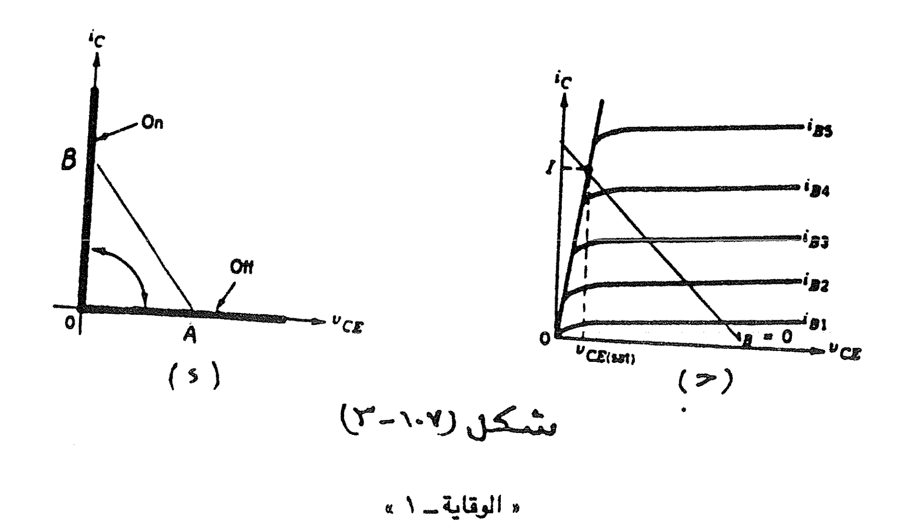
ويوضح شكل (٧-١٠-٣) جـ الشكل التقريبى للمنحنيات المبينة فى شكل (٧-١٠-٣) ب ، حيث اعتبرت نهايات المنحنيات كخطوط مستقيمة .

بينما يمثل شكل (٧-١٠-٣) ء خاصية ترانزستور مثالى ، حيث اعتبرت المنطقة رقم ١ خط مستقيم عندما i_c تساوى صفراً وقد اعتبرت المنطقة رقم ٣ خط مستقيم عندما V_{CE} يساوى صفراً .

تمثل نقطتا تقاطع خط التشغيل مع حدود المنطقة رقم ١ والمنطقة رقم ٣ ، وهما النقطتين B,A فى الشكلين (٧-١٠-٣) ب،ء ، نقطة الفصل ونقطة التوصيل للترانزستور والتى لها الخصائص الموضحة بالاشكال .

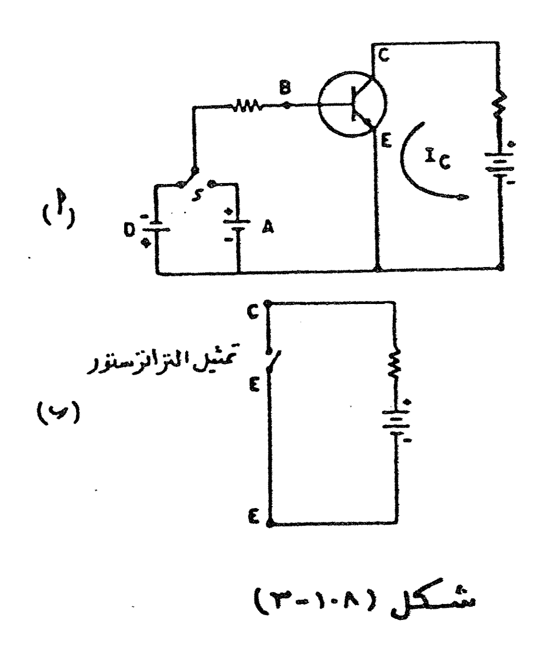


(ب) (أ)

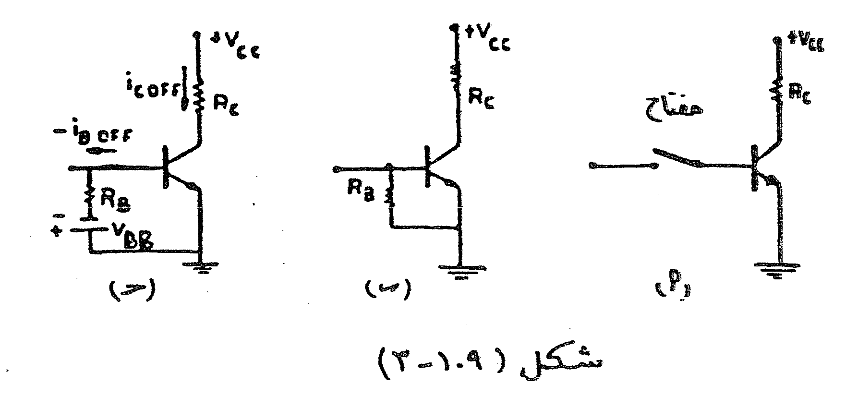


(د) (جـ)

شكل (١٠٧-٣)



شكل (٨-١-٣)



شكل (٩-١-٣)

عمل الترانزستور كمفتاح Transistor as a switch

حالة الفصل OFF State

عند توصيل المفتاح S الى وضع البطارية D كما فى شكل (٣-١٠٨) أ ، يكون الجهد بين الباعث والقاعدة جهد حياز عكسى ، وبالتالى لايعمل الترانزستور ، (لكى يعمل الترانزستور يجب ان تخضع خصائصه للمنحنيات فى شكل (٣-١٠٧) ب اى فى الربع الاول) ، وبذلك تصبح الوصلة بين المجمع والباعث فى هذه الحالة غير متصلة ، وتكون الدائرة مفتوحة ولايمر تيار الحمل وتمثل الدائرة فى شكل (٣-١٠٨) ب بمفتاح مفصول ومقاومة وبطارية ولايمر تيار بالحمل (المقاومة) ويمكن الوصول بالترانزستور الى حالة الفصل بأى من الطرق الآتية :

أ - أن تكون دائرة القاعدة مفتوحة ، اى ان تيار القاعدة i_B يساوى صفراً - كما فى شكل (٣-١٠٩) أ وبالرجوع الى شكل (٣-١٠٧)ب نجد ان تيار المجمع ، فى حالة الفصل ، i_{coff} يساوى

$$i_{coff} = I_{CEO} \sim h_{fe} I_{CBO}$$

حيث

h_{fe} = نسبة تحويل التيار الامامى لدائرة باعث مشترك .

I_{CEO} = التيار بين المجمع والباعث عند فتح دائرة القاعدة .

I_{CBO} = قيمة التيار العاكس بين القاعدة والمجمع فى حالة التشبع .

وقد تزيد قيمة i_{coff} فى بعض انواع الترانزستور الخاصة مثل ترانزستور جيرمانيوم .

ب - عن طريق توصيل مقاومة بين القاعدة والباعث كما فى شكل (٣-١٠٩) ب

فى هذه الحالة فان تيار المجمع ، عند الفصل i_{coff} ، يكون :

$$I_{CBO} < i_{coff} < h_{fe} I_{CBO}$$

هذا التأثير يصبح اكبر مايمكن عندما تكون R_B صغيرة جداً ، وعلى ذلك اذا كانت R_B مساوية للصفر فان هذا يؤدى الى تقليل قيمة i_{coff} فمثلاً الترانزستور السيليكونى تكون قيمة R_B حوالى ١٠ كيلو اوم للوصول الى قيمة مقبولة للتيار i_{coff}.

جـ - عن طريق الحصول على حياز عكسى من خلال مقاومة R_B وبطارية V_{BB} كما فى شكل (٣-١٠٩) جـ وفى هذه الحالة أمكن الحصول على أقل قيمة للتيار i_{coff} وللجهد $V_{CE\,off}$ ولذلك تستخدم هذه الطريقة بتوسع للحصول على حالتى الفصل والتوصيل .

... الترانزستور فى وضع عكسى ، ولكن يجب الا يزيد هذا الجهد العكسى على الترانزستور عن القيمة التى تؤدى الى انهياره ، اى الى تلامس المناطق القاحلة (*Depletion layers*) ، ولذلك تستخدم مقاومة مناسبة فى دائرة المجمع للحد من قيمة تيار المجمع . ويسمى هذا الجهد بجهد الاختراق (*Punch-through voltage*) .

حالة التوصيل *ON State*

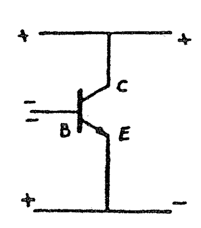
وهى حالة وصول الترانزستور الى التشبع (*Saturation*) والتى تحدث عندما يصبح مرور التيار معتمداً ومحدداً فقط بمقاومة الحمل . ويتم ذلك عندما تصبح كل من المنطقتين (القاعدة ـ الباعث) و (القاعدة ـ المجمع) ذات حياز امامى كما فى شكل (١١١-٣) وتصل قيمة فرق الجهد بين المجمع والباعث الى ٢٥ مللى ڤولت .

نجد فى الشكل (١١٢-٣) تمثيل لحالة التوصيل ، حيث يتم توصيل المفتاح S مع البطارية A ، عندئذ يصبح جهد منطقة (القاعدة ـ الباعث) حيازاً امامياً ويصبح الترانزستور موصلاً ، اى يمر تيار خلال الحمل R_L ووصلة المجمع ـ الباعث ، بمعنى آخر يصبح الترانزستور كمفتاح فى وضع توصيل .

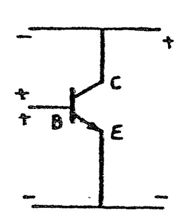
وبالرجوع الى شكل (١٠٧-٣) ب نجد ان الترانزستور يعمل فى المنطقة رقم ٣ ، اى منطقة التشبع ، وافضل الحالات عندما يكون الجهد بين المجمع والباعث يساوى صفراً ، او يكون صغيراً جداً بالمقارنة بجهد الحياز الامامى ، وتكون قيمة الجهد بين المجمع والباعث ، فى حالة التوصيل ، $V_{CE}\,on$ اكبر من قيمة الهبوط I_R فى منطقة المجمع والباعث .

ويلاحظ أنه لكى يعمل الترانزستور فى المنطقة الخطية (*Linear region*) ، اى المنطقة رقم ٢ ، يجب ان يكون جهد منطقة (الباعث ـ القاعدة) حيازاً امامياً ، بينما (المجمع ـ القاعدة) حيازاً عكسياً كما فى شكل (١١٣-٣) ، وبذلك يمر التيار بالترانزستور . وكلما زاد جهد القاعدة الموجب ازداد تيار القاعدة ، وكذلك تيار الحمل وبالتالى يزداد الجهد على الحمل ولكن الجهد على الترانزستور نفسه يقل حتى يصل الى حالة التشبع .

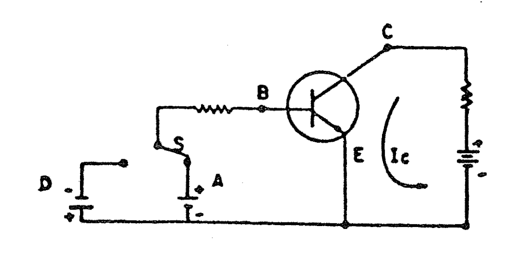
وعلى ذلك يستخدم الترانزستور كمفتاح توصيل وفصل (*ON-OFF switch*) عند تشغيله فى منطقتى الفصل والتشبع فقط (منطقتى ١ ، ٣) على منحنى خواصة وباستخدام جهد مدرج موجب (*Positive step voltage*) لتحديد حياز القاعدة فى ترانزستور من النوع *NPN* فان الترانزستور يصبح موصلاً تماماً ، دون المرور بالمنطقة



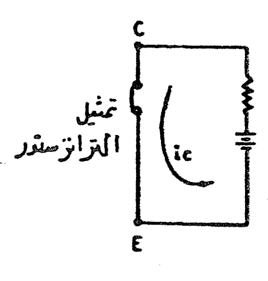
شكل (٣-١١٠)



شكل (٣-١١١)

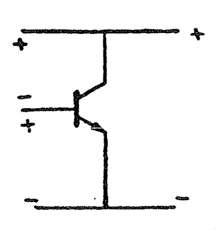


(أ)



(ب)

شكل (٣-١١٢)



شكل (٣-١١٣)

الخطية .

عمل الترانزستور كمكبر *Operation of transistor as an amplifier*

يعمل الترانزستور على تكبير اشارة المدخل اى يكون مخرج الترانزستور (او المكبر) اكبر من المدخل والغرض من استخدام الترانزستور كمكبر ، هو تكبير اشارة مخرج دائرة القياس *Measuring circuit* (والتى تعتبر من المكونات الاساسية لاى متمم وقاية استاتيكى وتتمثل فى مقارن قنطرة توحيد *(Rectifier bridge comparator)* ومكتشف مستوى *(Level detector)* حيث ان مخرج دائرة القياس عبارة عن اشارة ذات قيمة صغيرة يلزم تكبيرها خلال مكبر لاستخدامها لتشغيل وحدة المخرج *(Output unit)* لمتمم الوقاية .

ويستخدم فى متممات الوقاية الاستاتيكية ، غالباً ، مكبرين او ثلاثة متصلين على التوالى للحصول على تكبير مخرج مناسب .

ويتم التكبير باحد الطرق الموضحة بالاشكال (١١٤-٣) ، (١١٥-٣) ، (١١٦-٣) وهى:

- مكبر القاعدة المشترك *Common base amplifier*
- مكبر الباعث المشترك *Common emitter amplifier*
- مكبر المجمع المشترك *Common collector amplifier*

واكثر هذه الدوائر انتشاراً هى دائرة مكبر الباعث المشترك وتمتاز هذه الدائرة بالآتى:

- يمكن تشغيلها بدائرة مدخل واحد عن طريق حفظ مقاومة الحياز بين القاعدة والطرف الموجب لمصدر التغذية .

- نحصل من الدائرة على كسب تيار *(Current gain)* وكسب جهد *(Voltage gain)* وبالتالى كسب قدرة اكبر من الدائرتين الاخريتين .

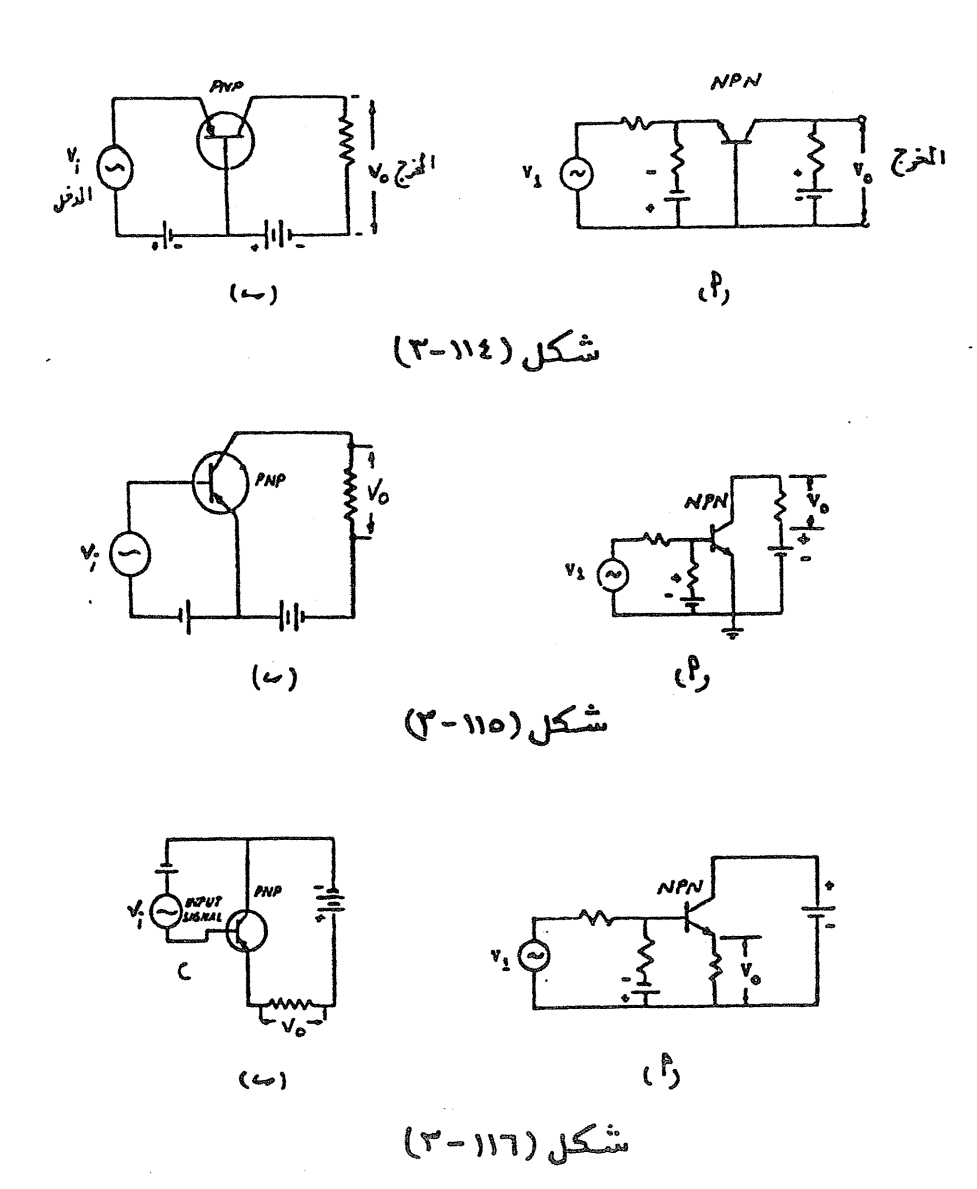
وتكون معاوقة المدخل *(Input impedence)* لدائرة الباعث المشترك اكبر من مثيلتها فى دائرة القاعدة المشترك بينما تكون اقل من مثيلتها فى دائرة المجمع المشترك .

ومن اكثر عيوب دائرة الباعث المشترك ان المخرج يكون فى اتجاه معاكس لاتجاه المدخل .

وفى دائرة مكبر القاعدة المشترك يكون :

- كسب التيار اقل من الواحد الصحيح .
- كسب الجهد اكبر من ٢٠٠٠

وتستخدم دائرة مكبر القاعدة المشترك بين مصدر تغذية ذى مقاومة صغيرة ودائرة



شكل (١١٤-٣)

شكل (١١٥-٣)

شكل (١١٦-٣)

حمل ذات مقاومة كبيرة وهذا يؤدى الى ان المدخل والمخرج يكونان فى اتفاق مرحلى *(In phase)* ولايوجد بينهما زاوية اختلاف .

وفى دائرة مكبر المجمع المشترك يكون :

- كسب التيار كبير جداً
- لايوجد كسب جهد .
- مقاومة المدخل كبيرة جداً بينما مقاومة المخرج صغيرة .

وتستخدم هذه الدائرة بين مرحلتين لمكبر الباعث المشترك مؤرض للربط بين مقاومة مخرج كبيرة للمكبر الاول ومقاومة مدخل صغير للثانى وعلى ذلك تصبح التوليفة عبارة عن مكبرات ذات ثلاثة مراحل ومن مميزاتها ان المدخل والمخرج فى اتفاق مرحلى .

يوضح جدول (٧-٣) مقارنة بين مقننات انواع مكبرات الترانزستور .

نفترض ان لدينا ثلاث مكبرات لكل منها كسب عبارة عن A_1, A_2, A_3 متصلة على التوالى فان قيمة الكسب *(gain)* الكلى عبارة عن

$$A = A_1 \ A_2 \ A_3$$

وعلى ذلك يمكن استخدام اكثر من مكبر للحصول على الكسب النهائى المطلوب لاشارة *(Signal)* معينة ، ويجب مراعاة الآتى عند عمل التكبير :

- نوع دائرة المكبر (مجمع ـ باعث ـ قاعدة مشترك)
- نوع الكسب المطلوب (تيار ـ جهد ـ قدرة)

جدول (٧-٣) مقارنة بين انواع مكبرات الترانزستور

الطرف المؤرض	الباعث	القاعدة	المجمع
المدخل	القاعدة	الباعث	القاعدة
كسب التيار	عالى	—	عالى
كسب الجهد	عالى	عالى	—
كسب القدرة	عالى	متوسط	منخفض
معاوقة المدخل	متوسط	منخفض	عالى
معاوقة المخرج	متوسط	عالى	منخفض
زاوية الازاحة (بين المدخل والمخرج)	١٨٠°	صفر	صفر

- نوع الربط المستخدم بين المكبرات (هل هو ربط مباشر ام من خلال عناصر ربط) وفيما يلى بعض امثلة لدوائر تكبير الاشارة *(d.c)* او تكبير الاشارات ذات الترددات المنخفضة جداً .

يوضح شكل (١١٧-٣) دائرة دارلنجتون *(Darlington circuit)* والتى تتكون من ترانزستورين من النوع مكبر القاعدة المشترك وكسب تيار الدائرة i_{CT} / i_{e1} يساوى الواحد الصحيح بينما h_{fe} يكون فى حدود ٢٠٠٠ الى ٣٠٠٠ .

ويوضح شكل (١١٨-٣) دائرة دارلنجتون مزدوجة *(Darlington pair circuit)* تتكون من ترانزستورين من النوع مكبر الباعث المشترك ، متصلين تعاقبياً ، لها معامل كسب للتيار فى حدود ٢٠٠٠ الى ٣٠٠٠ ، ومن خصائص هذه الدائرة ان لها كسب تيار عالى ومقاومة مداخل عالية .

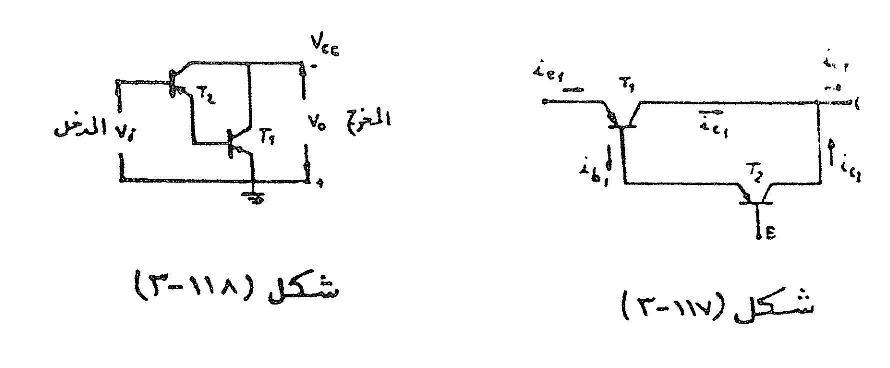
كما يوضح شكل (١١٩-٣) مكبرين من نوعين مختلفين *PNP, NPN* ، المكبر T_1 عبارة عن دائرة الباعث المشترك له مقاومة حمل عبارة عن مقاومة مدخل الترانزستور T_2، ودائماً يكون الجهد المسلط على الترانزستور T_1 مساوياً للقيمة V_{cc} ، بينما يكون تيار قاعدة الترانزستور T_2 مساوياً لتيار مجمع الترانزستور T_1 .

فى دائرة دارلنجتون المعدلة *(Modified Darlington circuit)* يتم توصيل المكبرين كما فى شكل (١٢٠-٣) بحيث تكون المقاومة R كبيرة جداً بالنسبة لمقاومة مدخل الترانزستور T_2 وتمتاز هذه الدائرة بالاستقرار الحرارى .

ويوضح شكل (١٢١-٣) دائرة مكبر اختلاف *(Difference amplifier)* حيث يتم الحصول على المخرج بين طرفى المجمعين . وهذه الدائرة تمتاز بكفاءة تشغيل عالية جداً

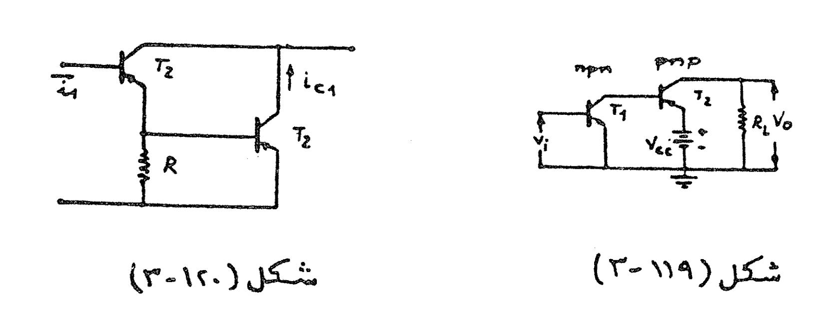
وتكون مقاومة دائرة الباعث R_e أكبر من أو تساوى مقاومة حمل الدائرة وعلى ذلك نجد أن كسب الدائرة اقل بكثير من دائرة مكبر عادى .

وتوجد دوائر بديلة ، للدوائر السابقة ، وهى تعرف بالدوائر المشطورة *(Chopper circuits)* وتستخدم لتحويل التيار المستمر ، أو المتغير ببطئ ، الى موجة مترددة والتى يمكن تكبيرها عن طريق مكبر *(a . c)* ، ويكون المخرج إما على شكل موجة مترددة *(a.c)* أو على شكل تيار مستمر (فى حالة استخدام موحدات) .



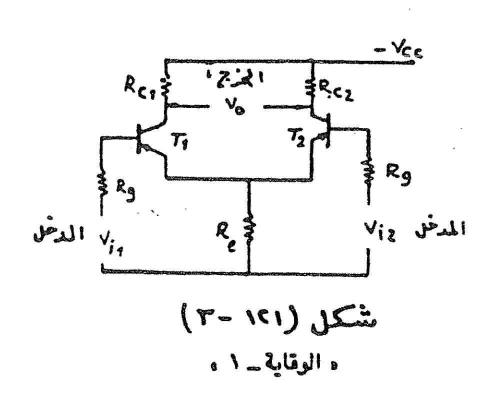
شكل (١١٧-٣)

شكل (١١٨-٣)



شكل (١١٩-٣)

شكل (١٢٠-٣)



شكل (١٢١-٣)

V_i (عبارة عن موجة تتغير ببطئ) ، V_G (عبارة عن موجة مربعة أى مترددة) ، ويكون شكل موجة المخرج V_o هو الجزء المشترك بين موجتى المدخل كما فى شكل (١٢٢-٣)ب

وتتكون الدوائر المشطورة غالباً ، من ترانزستور أو أكثر ، فإما أن تكون دائرة ترانزستور توالى مشطور (Series - Transistor Chopper Circuit) كما فى شكل (١٢٣-٣)أ أو أن تكون دائرة ترانزستور توازى مشطور (Shunt Transistor Chopper Circuit) كما فى شكل (١٢٣-٣)ب .

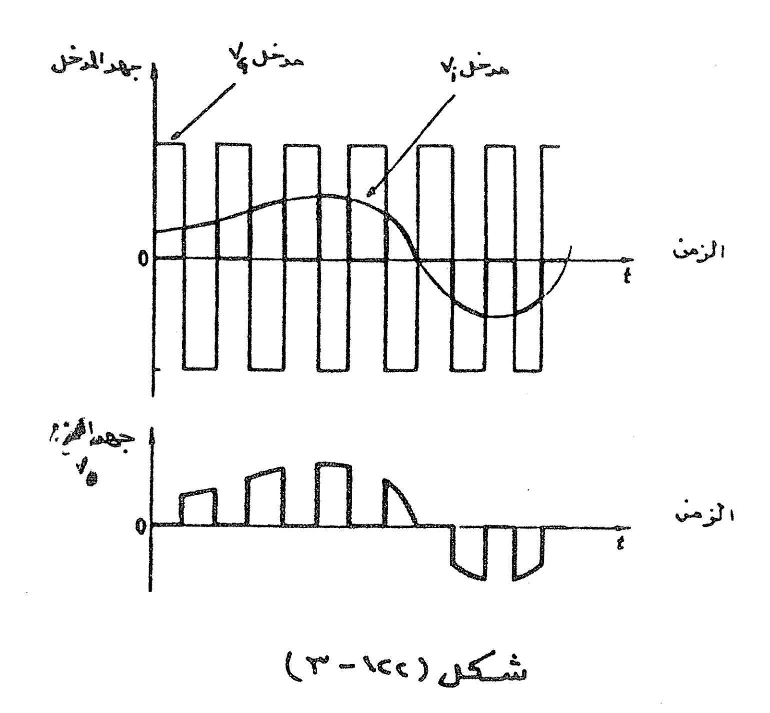
ويلاحظ فى شكل (١٢٣-٣)أ أن الترانزستور يكون موصلا فى حالة حياز أمامى بينما يكون الترانزستور فى شكل (١٢٣-٣)ب موصلا فى حالة حياز عكسى وفى كل من الدائرتين نحصل على مخرج الدائرة عندما يكون الترانزستور فى حالة التشبع .

وتوجد دوائر مشطورة عديدة نذكر منها :

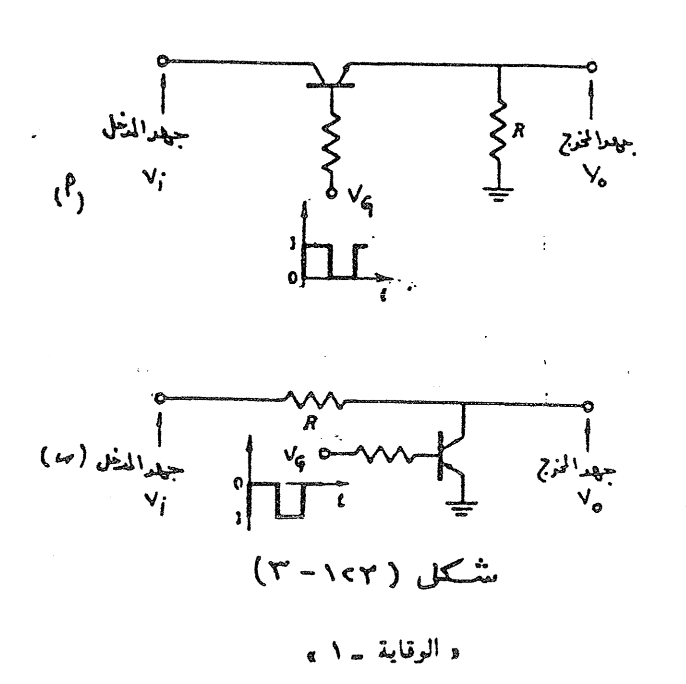
يوضح شكل (١٢٤-٣)أ دائرة مشطورة بسيطة ، مناسبة للاغراض العامة ، حيث تسلط موجة مربعة على مدخل المحول (ويعرف بالمدخل المتردد $a . c$) ، وعندما يكون جهد قاعدة الترانزستور موجباً فان الترانزستور يتحول الى حالة التوصيل (ON) ، عندئذ يظهر جهد المدخل $d . c$ خلال مقاومة المخرج R_2 ، وعندما يتغير جهد القاعدة الى سالب ، يتحول الترانزستور الى حالة الفصل (OFF) ويصبح جهد المخرج

ويوضح شكل (١٢٤-٣)ب دائرة مشطورة باستخدام عدد ترانزستورين ومحول وهى تستخدم بنجاح عندما تكون مقاومة المدخل صغيرة . ويمكن تشبيهها بمفتاح فصل - توصيل متصل توالى ومفتاح فصل - توصيل متصل بالتوازى مع المصدر . فعندما يكون الترانزستور T_1 فى حالة توصيل (ON) ، فان جهد وصلة المجمع - القاعدة ، للترانزستور T_2 ، يكون حياز عكسى . وعندما يكون الترانزستور T_2 فى حالة توصيل (ON) فان جهد وصلة المجمع - القاعدة للترانزستور T_1 يكون حياز عكسى .

وعندما يكون الترانزستور T_1 فى حالة فصل (OFF) ، فان تيار التسرب له يمر بالحمل عن طريق الترانزستور T_2 (فى نصف دورة) ، بينما فى نصف الدورة العكسى ،



شكل (١٢٢ - ٣)



شكل (١٢٣ - ٣)

يمر تيار التسرب للترانزستور T_2 بكمية كبيرة خلال الترانزستور T_1 إذا كانت المقاومة R كبيرة .

خلال كل نصف دورة ، يكون جهد مخرج الترانزستورين متماثل ويظهر على المقاومة R (المكثف C يمنع مرور مركبة $d . c$) .

كما يوضح شكل (١٢٤-٣)جـ نوع أخر من الدوائر المشطورة والتى تتكون من ترانزستورين متماثلين ومحولين . ومن خصائص الترانزستور أن له مقاومة فصل *(Cut off)* كبيرة ، بينما مقاومة التشبع او مقاومة التوصيل *(ON)* صغيرة .

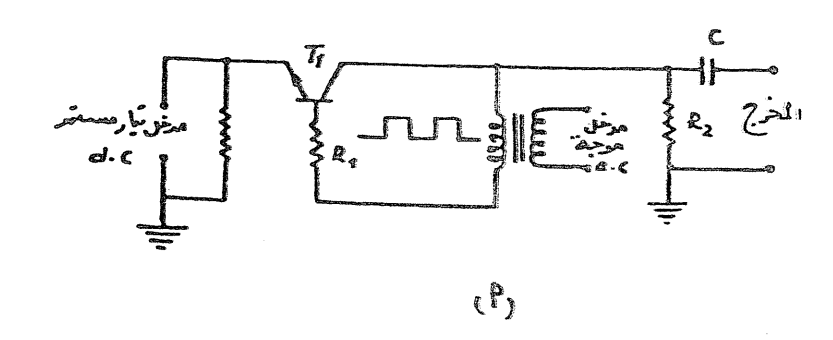
وعن طريق تسليط موجة مربعة على مدخل المحول (١) ، تعمل على تشغيل الترانزستورين بالتتابع لحالتى فصل وتوصيل *(On/off)* ، وكذلك يتم تسليط اشارة تيار مستمر $d . c$ (كما فى الشكل) ، ونحصل على اشارة المخرج من خلال المحول (٢) وتكون عبارة عن نبضات متوالية ، ونجد أن الفرق بين جهد المخرج وجهد المدخل هو قيمة جهد تشبع الترانزستور .

٥ - استخدامات الثيريزتور (موحد التيار السيلكونى المحكوم *SCR*)

كما ذكرنا سابقاً ، فان الثيريزتور عبارة عن أربعة مناطق هى *PNPN* ، ويعرف النوع شائع الاستعمال بالموحد السليكونى المحكوم ويرمز له بالرموز *SCR* وله وضعان للاستقرار ، احدهما عندما تكون مقاومته صغيرة جداً ويصبح الثيريزتور فى حالة توصيل *(Conducting state)* ، والأخر عندما تكون مقاومته كبيرة جدا ويصبح الثيريزتور فى حالة عدم توصيل *(Non Conducting state)* وهو يتحول من احدى الحالتين الى الاخرى بسرعة جداً أى أن زمن التحويل من حالة الى اخرى صغير جدا جدا .

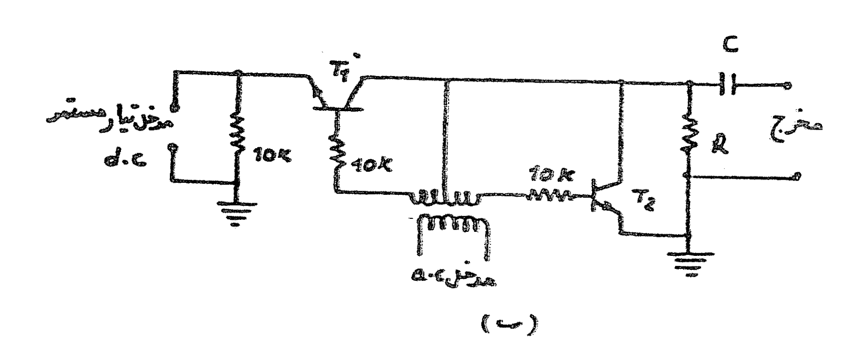
ومن الاستخدامات الشائعة للنوع *SCR* انه يستخدم كمفتاح *(Switch)* أو كموحد تحكم *(Controlled Rectifier)* .

فاذا سلطنا جهداً ، بين طرفى الأنود (المصعد) والبوابة ، له قيمة موجبة مناسبة بالنسبة للكاثود ، عندئذ يتحول الثيريزتور الى حالة التوصيل *(ON)* فيمر التيار ، ويظل فى حالة توصيل بدون الحاجة الى اى دفعة إطلاق جديدة على البوابة ومقاومة الثيريزتور المثالى تساوى صفراً تقريباً . ولكى تتم عملية الفصل للثيريزتور يجب عدم تواجد اية



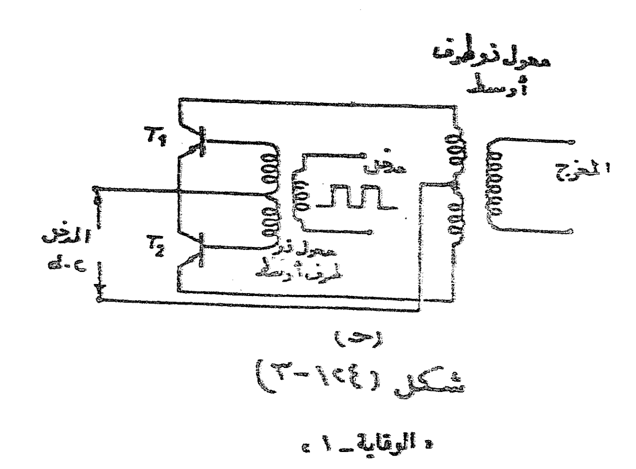
C
T1
R1
R2
مدخل تيار مستمر
d.c
مدخل موجة
a.c
المخرج

(أ)



C
T1
T2
10K
40K
10K
R
مدخل تيار مستمر
d.c
مدخل a.c
مخرج

(ب)



محول ذو طرف أوسط
T1
T2
مدخل
المخرج
المدخل
d.c
محول ذو طرف أوسط

(ح)

شكل (١٢٤-٣)

اشارة على البوابة وينخفض تيار المصعد الى الصفر أو يتم تسليط اشارة سالبة على البوابة ، وجدير بالذكر ان التيار يمر فى الثيريزتور فى اتجاه واحد فقط .

ويوضح شكل (١٢٥-٣) تلخيص لحالتى التوصيل والفصل للثيريزتور واشارات الكاثود والأنود والبوابة .

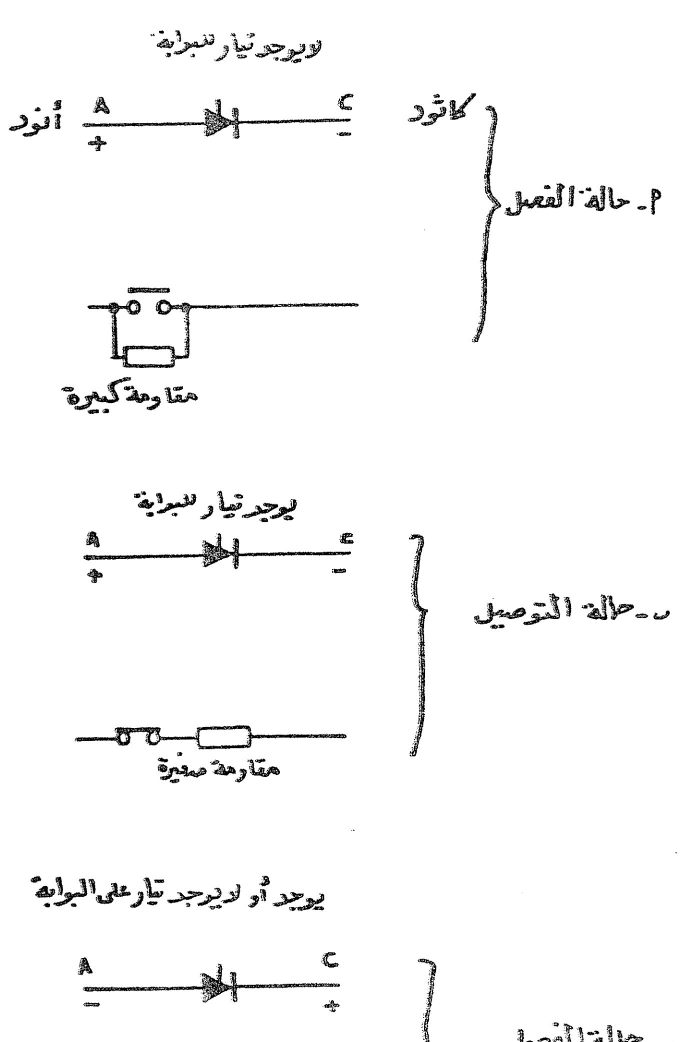
أ - استخدام الثيريزتور فى دوائر فصل قاطع التيار *(Thyristor Tripping Circuit)*

يعتبر الثيريزتور أفضل عنصر لقطع أو فصل قاطع التيار باستخدام اشارة ذات قدرة صغيرة ولفترة زمنية قصيرة ، حيث يتم تسليط جهد اطلاق *Triggered* على بوابة الثيريزتور ، ناتجة من اشتغال وحدة القياس بمتمم الوقاية ، ويستمر الثيريزتور فى حالة توصيل حتى يفتح قاطع التيار ، فتقطع دائرة التيار المستمر المغذية للثيريزتور ويتحول الى حالة الفصل . بمعنى آخر يعمل الثيريزتور كنقطة تلامس *(Contactor)* ، فاذا اشتغل عنصر القياس بمتمم الوقاية تقفل نقطة التلامس والتى بدورها تعمل على استكمال دائرة الفصل لقاطع التيار ، فيفتح قاطع التيار .

وفيما يلى بعض الدوائر المستخدمة لفصل قاطع التيار :

يوضح شكل (١٢٦-٣) دائرة فصل قاطع التيار باستخدام *SCR* ، حيث يتم تغذية البوابة باشارة ناتجة عن اشتغال دائرة القياس *(Measuring Circuit)* بمتمم الوقاية . وعند قيمة جهد اطلاق معينة يتحول الثيريزتور الى حالة توصيل ، ويمرر تيار ، بدائرة الفصل ، من البطارية الى ملف فصل قاطع التيار والذى بدوره يعمل على فصل قاطع التيار . وتلاحظ نقطة التلامس المساعدة الموجودة فى دائرة الفصل ، والتى لها نفس وضع نقط التلامس الرئيسية لقاطع التيار . فعندما يكون القاطع موصلا فان نقطة التلامس هذه تكون موصلة . وتكون دائرة الفصل جاهزة لمرور التيار فى حالة تحول الثيريزتور الى حالة التوصيل . وبعد فصل قاطع التيار تفتح ايضاً نقطة التلامس المساعدة وبالتالى تقطع التغذية (البطاريات) عن الثيريزتور وعندئذ يتحول الى حالة الفصل *(off)* .

ويبين شكل (١٢٧-٣) دائرة فصل قاطع التيار باستخدام *SCR* ولكن تم اضافة مرشح *(Filter)* لتقليل اى زيادة فى جهد التشغيل *(Pick - up)* على الكترود البوابة بحيث تمر اشارة جهد اطلاق على المرشح اولا ثم على البوابة



لا يوجد تيار للبوابة
كاثود
أنود
A
C
+
-
أ- حالة الفصل
مقاومة كبيرة
يوجد تيار للبوابة
A
C
+
-
ب- حالة التوصيل
مقاومة صغيرة
يوجد أو لا يوجد تيار على البوابة
A
C
-
+
جـ- حالة الفصل
مقاومة عالية

شكل (٢٥) (- ٣)

وكذلك تم اضافة C_1R_1 لحماية الثيريزتور من اى مخاطر . وتعمل الدائرة بنفس الفكرة السابقة .

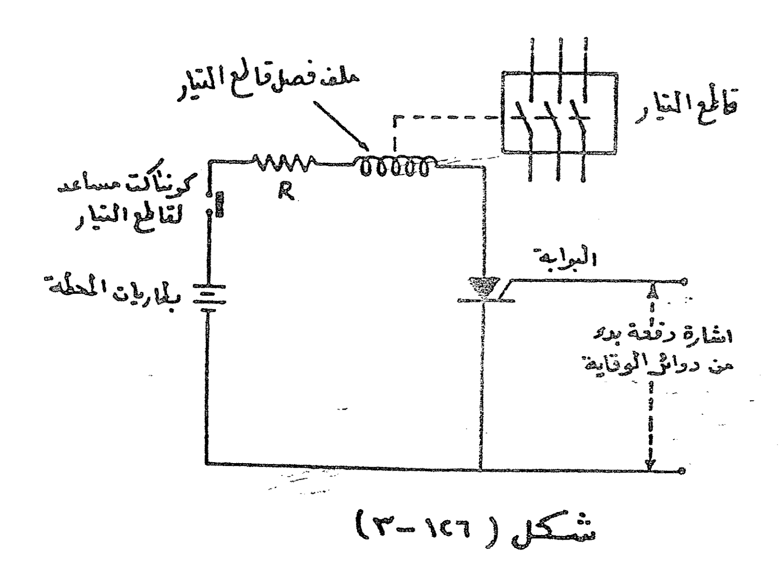
ويوضح شكل (١٢٨-٣) دائرة فصل قاطع التيار باستخدام *SCR* ، فعند تشغيل الثيريزتور بجهد اطلاق عن طريق نبضة ذات قيمة صغيرة بعد تكبيرها خلال الترانزستور T . وعند تسليط اشارة مخرج دائرة القياس ، لمتمم الوقاية ، على قاعدة الترانزستور من خلال المقاوم R_1 ، فاذا كانت هذه الاشارة موجبة فان الترانزستور يتحول الى حالة التوصيل ، ويبدأ المكثف C فى تفريغ شحنته فى البوابة من خلال المقاومة R_3 . ويتحول *SCR* الى حالة التوصيل ويمر تيار مستمر بدائرة فصل قاطع التيار والذى بدوره يؤدى الى فتح القاطع .

يبين شكل (١٢٩-٣) دائرة فصل قاطع التيار باستخدام *SCR* ومحول نبضة *(Pulse Transformer)* . حيث يتم تسليط اشارة مدخل (من متمم الوقاية) على قاعدة الترانزستور T ، وعندما يتحول الترانزستور الى حالة التوصيل يبدأ المكثف C فى تفريغ شحنته فى محول النبضة ، والذى بدوره يعطى جهد اطلاق للبوابة وتعمل على تحويل *SCR* الى حالة التوصيل وتكمل دائرة فصل قاطع التيار عملها .

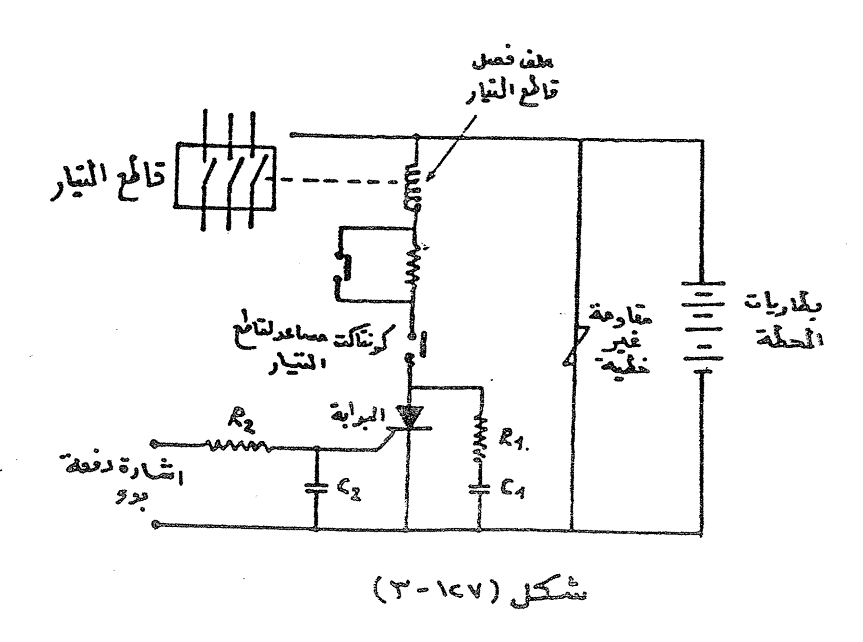
ويلاحظ فى جميع الدوائر السابقة أن قيمة محاثة *(Inductance)* ملف فصل قاطع التيار تحمى *SCR* من الارتفاع المفاجئ للتيار (معدل الزيادة مرتفع) . وفى تصميمات الوقاية يراعى ان نبضة الفصل *(Tripping Pulse)* يجب أن تستمر لمدة ٢ مللى ثانية على الاقل لكى تعطى فرصة لاشتغال الثيريزتور ـ هذا التأخير الزمنى يلاحظ فى شكل (١٢٨-٣) عن طريق الزمن اللازم لشحن المكثف ، خلال المقاومتين R_1 ، R_2 (هذا التأخير الزمنى يعمل على منع الفصل الخاطئ نتيجة نتوءات الجهد الابرية *(Voltage Spikes)* .

وكذلك يجب حماية الاسلاك المستخدمة فى دائرة *SCR* من تموجات الجهود الناتجة من التيار المستمر *(d . c)* ومن التأثير بالحث والتداخل الكهرومغناطيسى وخاصة اذا كانت سرعات تشغيل *SCR* أقل من ٥ ميكروثانية .

وقد يستخدم مصهر ، حيث يوصل على التوالى مع الثيرويزتور ، كوقاية ضد زيادة التيار ، بينما يستخدم ديود خلال ملف الفصل كوقاية ضد ارتفاع الجهد .



شكل (١٢٦ - ٣)



شكل (١٢٧ - ٣)

ومن القيم النموذجية للثيريزتور ، ان يتراوح مقنن التيار الامامى بين قيمة صغيرة الى عدة مئات من الأمبير . ويكون جهد الاطلاق لحظى (حوالى ٤ ميكروثانية) وتيار البوابة عدد قليل من المللى أمبير . كما يجب أن تكون قدرة الثيريزتور كافية لتشغيل اى ملف فصل لقاطع تيار له قدرة حتى ٣٠ أمبير .

وعموماً لا يستخدم الثيريزتور فقط فى دوائر فصل قاطع التيار ، ولكن يستخدم ايضاً بديلا عن نقط التلامس *(Contactors)* بمتممات الوقاية الكهرومغناطيسية التقليدية وبذلك نتخلص من عيوبها الكثيرة والتى تتلخص فى حدوث تآكل للاجزاء المتحركة (خاصة عندما يكون معدل التشغيل مرتفعاً) ، الى جانب مخاطر حدوث قوس كهربى بين نقط التلامس وسرعة تأثرها بالأجواء المحيطة مثل الاتربة والرطوبة و......

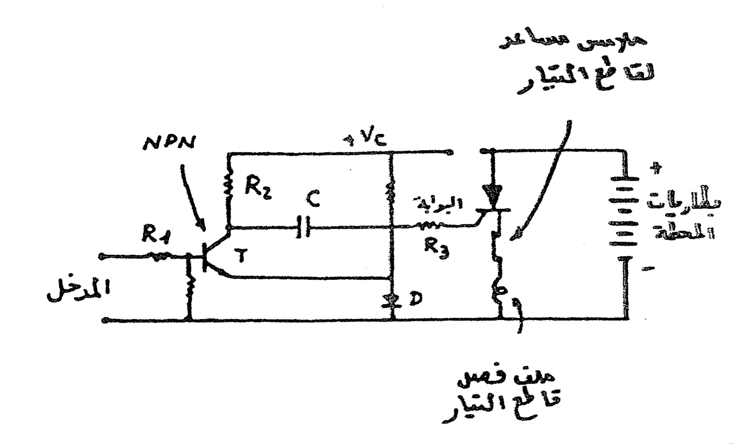
مفتاح ثيريزتور أحادي الوجه *Single - Phase Thyristor Switch*

يستخدم اثنان من الثيريزتور على التوازى ، كما فى شكل (١٣٠-٣) ، للسماح بمرور التيار فى اتجاهين متضادين ، حيث يكون احدهما موصلا فى نصف الموجة الموجبة وبذلك يمر فيه التيار ، بينما الاخر يكون موصلا فى نصف الموجة السالبة ويعمل ايضاً على مرور التيار فى الاتجاه المضاد .

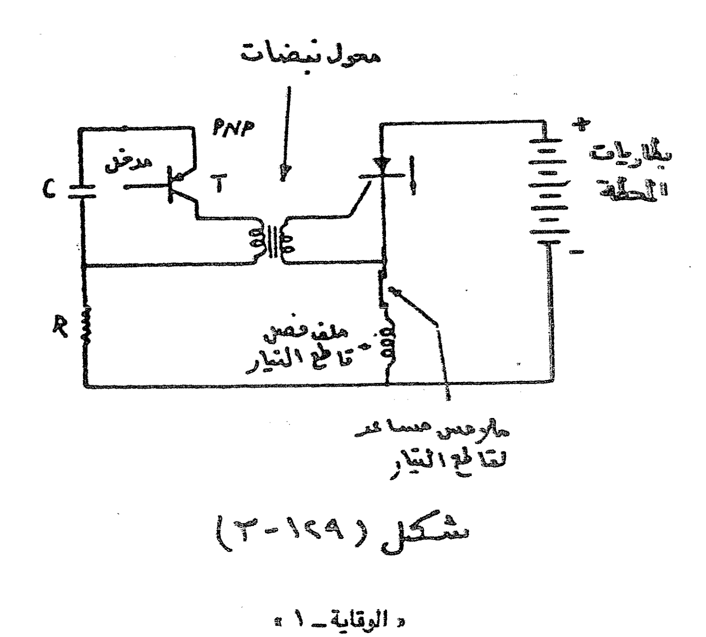
وعند تسليط تيار متردد على مدخل الدائرة ، مع عدم تسليط اى جهد اطلاق على بوابتى الثيريزتورين ، يظهر جهد المدخل بأكمله على الطرفين A , B بينما لا يظهر اى جهد على مخرج الدائرة .

واذا تم تسليط جهود اطلاق على البوابتين فى نفس اللحظة فانه يمر تيار فى الثيريزتور (١) خلال نصف الموجة التى يكون فيها الطرف B موجباً ، ويمر تيار فى الثيريزتور (٢) خلال نصف الموجة التى يكون فيها الطرف B سالباً (اى الطرف A موجبا) . ويعود الثيريزتور الى حالة الفصل عندما تكون موجة التيار تساوى صفراً .

اذا أمكن التحكم فى تنظيم لحظة جهود الاطلاق فى كل من الثيريزتورين ، على موجة جهد المدخل ، فانه يمكن تنظيم (أو التحكم فى) قيمة الجهد الفعال الذى يظهر على طرفى الحمل ، حسب الاحتياج ، حيث يمكن الحصول على مخرج على شكل موجة جهد متردد بدون اى تشوهات .



شكل (١٢٨-٣)



شكل (١٢٩-٣)

مبدل ثيريزتور احادى الوجه Single - Phase Thyristor Converter

يمكن التحكم فى دائرة نصف الموجة ، احادى الوجه ، باستخدام ثيريزتور ، كما فى شكل (١٣١-٣) ، ويصبح الثيريزتور فى حالة توصيل عندما يكون الجهد V_1 ، على طرفيه ، موجباً على أن يصاحب ، فى نفس اللحظة ، تسليط جهد اطلاق على البوابة . ولكن عندما يتم تأخير بدء توصيل الثيريزتور بزاوية $\propto$ ، نحصل على موجة مخرج V_o ، وتيار مخرج i_o ، والجهد الحادث على الثيريزتور كما فى شكل (١٣١-٣)ب ويمكن اضافة ديود على التوازى مع الحمل حيث يعمل على منع انعكاس جهد الحمل الى ما هو أبعد من قيمة هبوط الجهد على الديود .

شبه مبدل أحادى الوجه Single - Phase Semiconverter

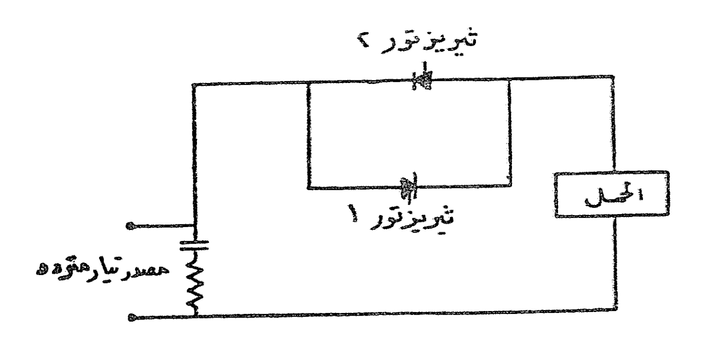
يمكن استخدام الدائرة بشكل (١٣٢-٣)أ للتحكم فى القيمة المتوسطة لمخرج جهد التيار المستمر . يتم مرور التيار الى الحمل عن طريق أحد الثيريزتورين ، بالتتابع ، والعودة من الحمل عن طريق الديوديين ، بالتتابع ايضاً . ويعمل وجود الديود Dm على منع ظهور جهد سالب على الحمل (المخرج) . ويوضح شكل (١٣٢-٣)ب شكل موجات التيارات المارة بكل من D_1, D_2 , T_1 , T_2 ، وجهد المخرج وتيار المخرج .

مبدل كامل احادى الوجه Single - Phase Full Converter

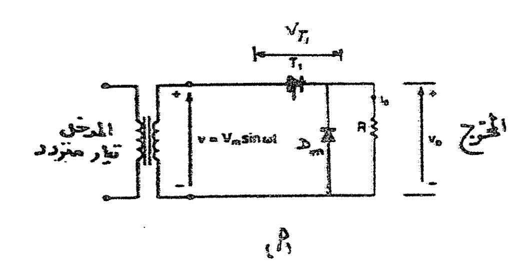
يوضح شكل (١٣٣-٣) دائرة مكونة من عدد أربعة ثيريزتور للحصول على قيمة متوسطة لمخرج جهد التيار المستمر . وخلال النصف موجة الموجبة يكون كل من T_1 ، T_2 حيازاً موجباً فاذا تم تسليط جهد اطلاق عليهما فى نفس اللحظة ، مثلا عند الزاوية $\propto$ على موجة المدخل ، فان الحمل يصبح متصلا مع المدخل من خلال T_2 ، T_1 .

وخلال نصف الموجة السالبة للمدخل ، يكون T_4 ، T_3 حيازاً أمامياً وعند تسليط جهد اطلاق عليهما يؤدى هذا الى ظهور جهد المصدر على T_2 ، T_1 كجهد عكسى *(reverse blocking voltage)* فيتحول T_2 ، T_1 الى حالة الفصل وبذلك يمر تيار الحمل من خلال T_4 ، T_3 .

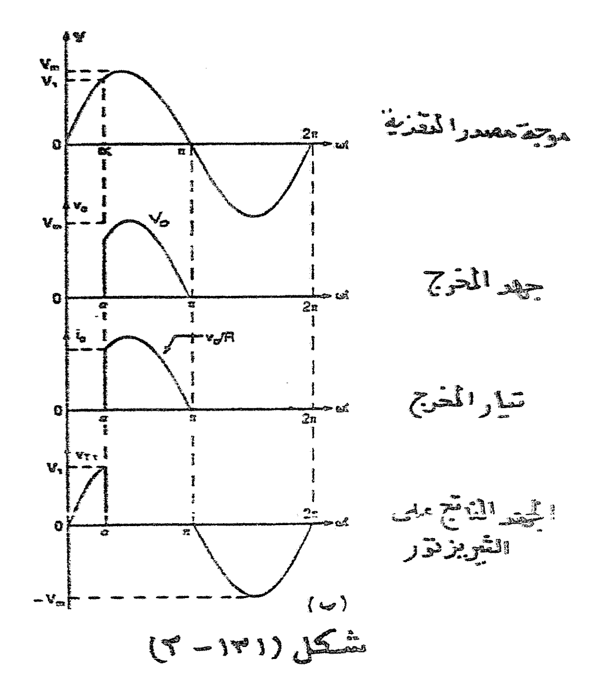
يوضح شكل (١٣٣-٣)ب موجات جهد المدخل ، وجهد المخرج ، وتيار المدخل ، وتيار المخرج .



شكل (١٣٠ - ٣)



(أ)



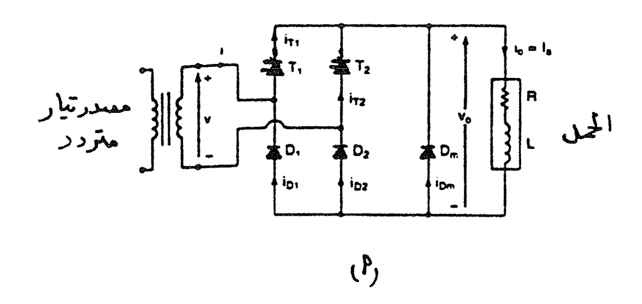
(ب)

شكل (١٣١ - ٣)

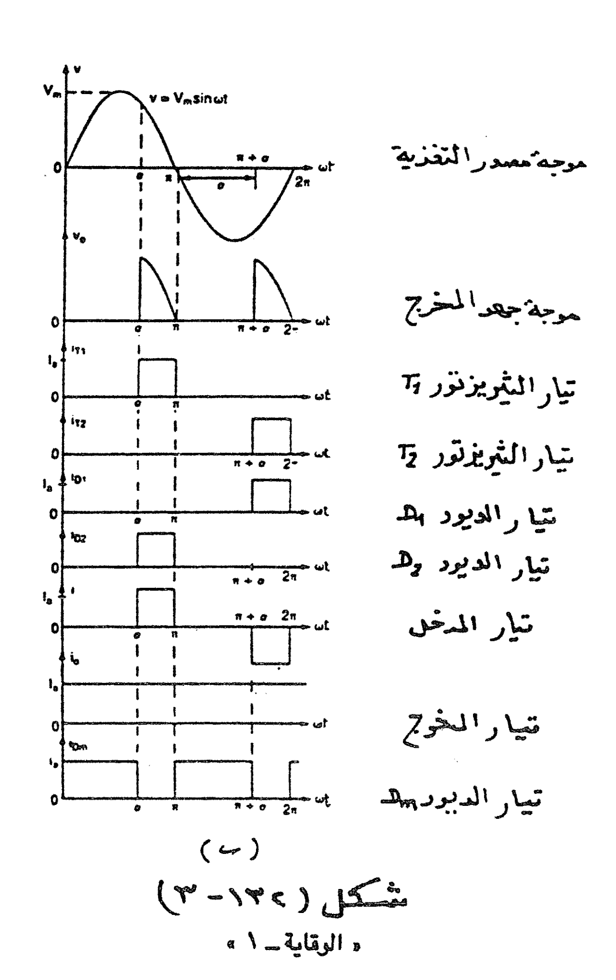
دوائر جهد الاطلاق باستخدام ترانزستور احادى الوصلة UJT Trigger Circuits

لقد سبق أن ذكرنا ، ان الترانزستور احادى الوصلة UJT عبارة عن وصلة من PN ، وله ثلاثة اطراف ، ويتكون ببساطة من طبقات من السيليكون من النوع N وله قاعدتين للتحكم عبارة عن وصلة سبيكة من النوع p .

ومن مميزاته إمكانية أستخدامه لاعطاء جهد اطلاق Triggering للثيريزتور حيث يكون تيار جهد الاطلاق صغيراً ، بينما تكون قيمة جهد الاطلاق ثابتة . يبين شكل (١٣٤-٣) دائرة اطلاق للثيريزتور باستخدام UJT وتعرف هذه الدائرة بدائرة مذبذب الارخاء (UJT Relaxation oscillator) حيث يشحن مكثف الزمن C_T خلال المقاومة R_T حتى يتحول الترانزستور (UJT) الى حالة التوصيل ، ثم يفرغ المكثف C_T خلال المقاومة R_1 فى القاعدة رقم (١) وفى دائرة الكاثود والبوابة للثيريزتور . ثم يتحول الترانزستور الى حالة الفصل مرة ثانية وتتكرر الدورة . ويكون مخرج الترانزستور (وهو نفسه الجهد المسلط على بوابة الثيريزتور SCR) عبارة عن نبضات ذات فترات زمنية صغيرة . وتكون قيمة R_1 صغيرة بحيث تتغلب على المركبات الثابتة الموجودة فى جهد البوابة نتيجة زيادة أقصى قيمة والتى تمنع حدوث جهد الاطلاق للثيريزتور SCR . اما المقاومة R_2 فتعادل تأثير درجات الحرارة عند اقصى جهد للترانزستور UJT . فاذا كان جهد القاعدة الداخلى V_{BB} ثابتاً فان نقطة أقصى جهد تنخفض مع ارتفاع درجة الحرارة ، نتيجة تغيير الجهد الامامى بين الديود والباعث V_F . وحيث ان المقاومة R_2 متصلة على التوالى ، فان معامل درجة الحرارة Temperature Coefficient لمقاومة القاعدة الداخلية R_{bb} يدفع V_{BB} للزيادة مع درجة الحرارة ويعادل الانخفاض فى V_F . وعموماً تكون قيمة R_1 أقل من ١٠٠ أوم بينما قيمة R_2 حوالى بضع مئات من الأوم .



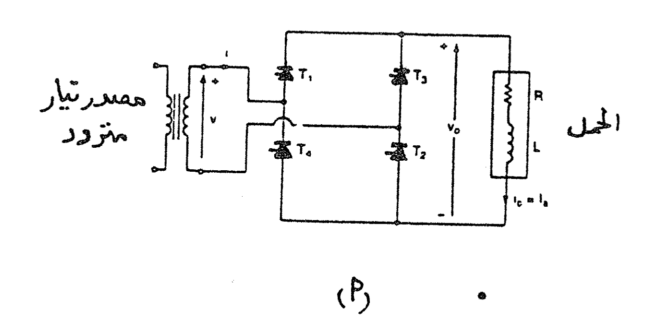
(أ)



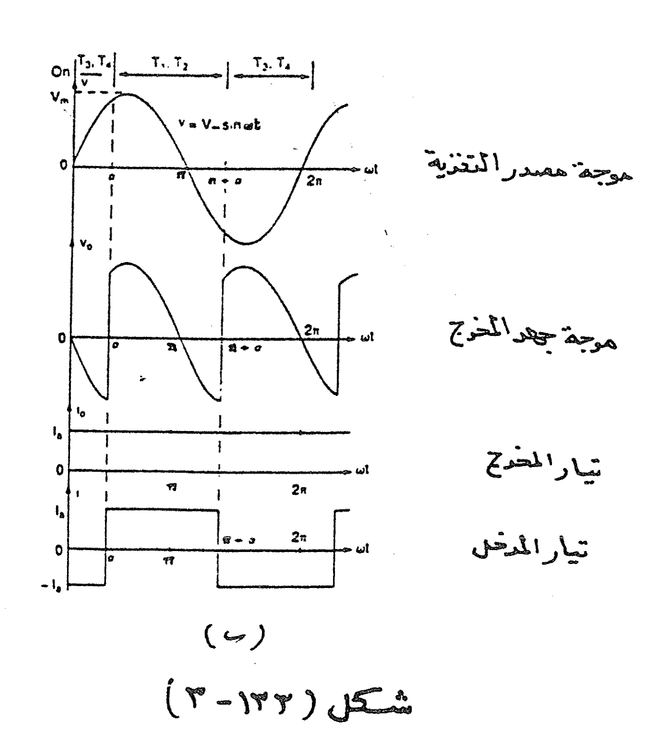
(ب)

شكل (٢-١٣٢ - ٣)

« الوقاية - ١ »


مصدر تيار
متردد
الحمل
T_1
T_3
T_4
T_2
R
L
v_o
$i_o = I_a$

(أ)


موجة مصدر التغذية
موجة جهد المخرج
تيار المخرج
تيار المدخل
T_3, T_4
T_1, T_2
T_3, T_4
V_m
$v = V_m \sin \omega t$
ωt
2π
v_o
i_o
I_a
$-I_a$

(ب)

شكل (١٣٢-٣)

ويمكن التحكـم فى جهد الاطلاق من UJT عن طريق تقليل جهد القاعدة - الداخلى V_{BB} .

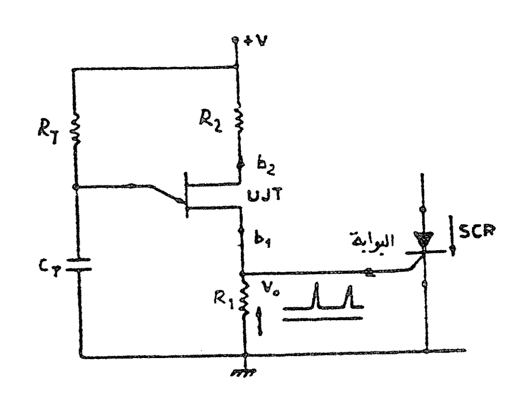
واذا كانت دائرة SCR مغذاة من مصدر تيار متردد $(a . c)$ فيلزم ان تكون نبضة جهد اطلاق البوابة فى اتفاق تزامنى *(Synchronized)* مع مصدر التغذية . وهذا ما يوضحه شكل (١٣٥-٣) . حيث يتم تغذية الدائرة من جهد ذى موجة توحيد كاملة *(Full wave rectified)* ، ومن خلال الزينرديود ZD يتم تنظيم اقصى جهد اطلاق . وعند بداية كل دورة لجهد المصدر يشحن المكثف C_T خلال المقاومة R_T حتى يتحول UJT الى حالة التوصيل ويسلط جهد اطلاق على بوابة SCR . وعند نهاية كل دورة ينخفض جهد القاعدة رقم (٢) الى الصفر ويتحول الترانزستور UJT مرة ثانية الى حالة الفصل . ويفرغ المكثف C_T عند بداية كل نصف دورة وتكون الدائرة فى اتفاق تزامنى مع مصدر التغذية .

وبواسطة ضبط المقاومة R_T يمكن التحكم فى زاوية موجة بوابة SCR بالنسبة الى جهد المصدر .

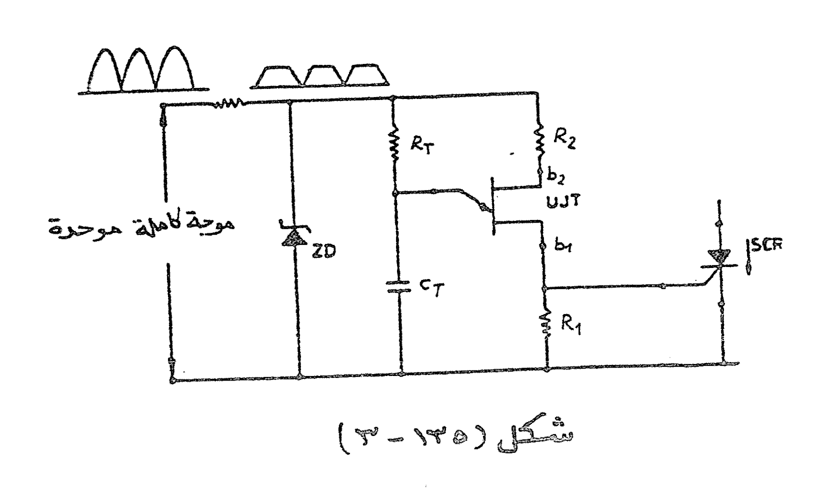
٦-١ المتممات ذات الريشة *Reed Relays*

عبارة عن مجموعة نقط تلامس *(Contactors)* تعمل بالمجال المغناطيسى ، وتستخدم كمساعدات فى متممات الوقاية الاستاتيكية وتماثل المتممات المساعدة *Auxiliary Relays* المستخدمة فى متممات الوقاية الكهرومغناطيسية ، كما أنها تعتبر بديل الثيريزتور كمتمم لدائرة فصل القاطع ، وتتميز المتممات ذات الريشة بالأتى :

- باستخدامها يمكن التغلب على مشاكل الاتربة ـ والرطوبة ـ والصدأ ، لأنها محكمة



شكل (١٣٤-٣)



شكل (١٣٥ - ٣)

الغلق .

- صغيرة الحجم .

- زمن تشغيل صغير جداً .

- ذات موثوقية عالية .

- ذات عدد كبير جداً من دورات التشغيل ـ ولا تحتاج لأى عمليات صيانة .

- السعر منخفض .

التركيب

عبارة عن ازواج من نقط التلامس *(Contactors)* مصنوعة من سبيكة معينة من النحاس مثبتة فى احد طرفى ريشة *(reed)* أو شرائط مصنوعة من حديد منكل مرن ، ذات نفاذية مغناطيسية عالية ، ويفصل بين نقط التلامس ثغرة هوائية بطول حوالى ٠,٢٥ مم أو أقل ، والطرف الآخر للريشة مثبت فى انبوبة أو كبسولة من الزجاج المغلق عند درجة الحرارة العادية ، ومملوء بغاز مثل النتروچين ، كما يحاط بالانبوبة ملفاً ، كما هو موضح بالشكل (١٣٦-٣) .

ويوجد نوعان من هذا المتمم كالآتى :

أ - الوضع الطبيعى نقط تلامس مفتوحة *(Normally Open)*

يوضح شكل (١٣٧-٣) متمم ذو ريشة ، ونقط التلامس مفتوحة ، فعند توصيل المفتاح *S* يغذى الملف بالتيار المستمر ، ونتيجة مرور تيار بالملف يحدث مجال مغناطيسى يسبب مغنطة للريشة ويصبح طرفا نقط التلامس ذات قطبية عكسية ، فتعمل على قفل نقط

التلامس . وتعود نقط التلامس الى وضعها الطبيعى عند فتح المفتاح s .

ب - الوضع الطبيعى لنقط التلامس مقفولة *(Normally closed)*

يوضح شكل (١١٨-١) فكرة هذا النوع . حيث يحتوى المتمم على مغناطيس حيار دائم *Permanent biasing magnet* ، بالقرب من الانبوبة ، ينتج عن هذا المغناطيس مجال يعمل على قفل نقط التلامس دائما . وعند توصيل المفتاح s يمر تيار مستمر بالملف ، يحدث مجالا مغناطيسياً معاكساً للمجال المغناطيسى الناتج من المغناطيس الدائم ، وتكون المحصلة صفراً وبالتالى تفتح نقط التلامس . اى انه اذا كان المفتاح s مفتوح فان نقطة التلامس C ، تكون مغلقة اما اذا كان المفتاح s مغلق فان نقطة التلامس c تكون مفتوحة .

مقننات متمم نوريشة

حمل التقدير المستمر (التيار المقنن) : ٠,١ أمبير وحتى عدد قليل من الأمبير

زمن التشغيل	: ١ مللى ثانية
قدرة التشغل	: حتى ٥٠ وات
عدد مرات التشغيل	: من $١٠^{٦}$ وحتى $١٠^{٧}$
عدد أزواج نقط التلامس	: حتى ٦

بالاضافة الى ما سبق فان هذا المتمم يمتاز بمقاومته للصدمات *(shock - proof)* حتى خمسة مرات من سرعة الجاذبية ، وله ضغط تلامس جيد ، وارتداد سريع ولكن يمكن ان يحدث له رنين عند ٩٠٠ هرتز .

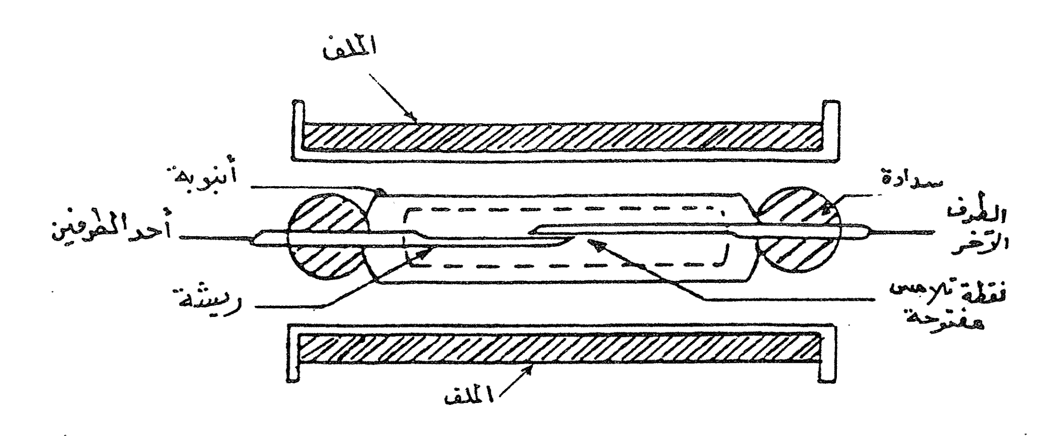
ثرمستور (*Thermistor*)

(مقاوم ذو معامل حرارى سالب كبير)

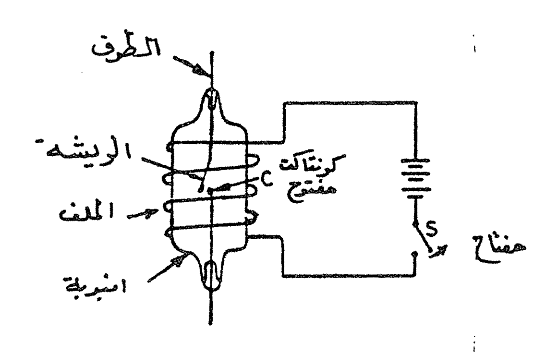
يستخدم الثرمستور لقياس درجات الحرارة ، ودوائر تعويض درجات الحرارة .

ويوجد نوعان : ثرمستور ذو معامل حرارى سالب ، وآخر ذو معامل حرارى موجب .

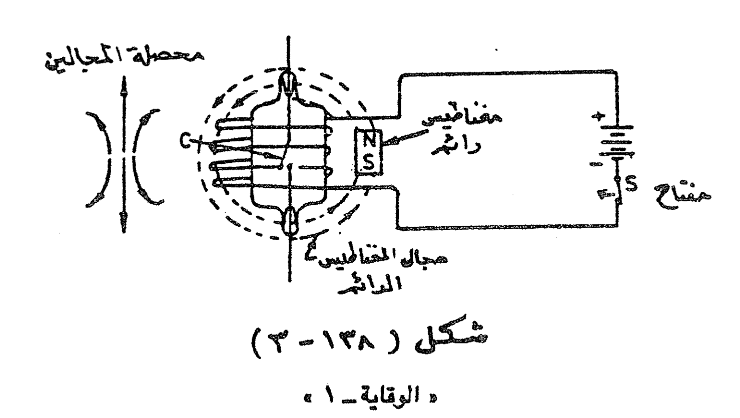
وتقل مقاومة الثرمستور ذو المعامل الحرارى السالب مع ارتفاع درجات الحرارة .



شكل (١٣٦-٣)



شكل (١٣٧-٣)



شكل (١٣٨-٣)

وبالرغم من تواجد دوائر كثيرة ، مثل دوائر الاسترجاع *(Regenerative Circuits)* ،
والتى لها خصائص غير خطية ولكنها تستخدم تغذية خلفية موجبة (حيث يتم اعتبار

يكون المخرج ، والتغذية الخلفية الموجبة ، مدعماً للمدخل *(Reinforced)* ، وتعمل التغذية
الخلفية الموجبة على زيادة خاصية الكسب *(Gain)* للترانزستور . وتجعل الترانزستور
يصل الى حالة التشبع بسرعة وتفيد هذه الخاصية فى الحصول على تشغيل سريع

ودقيق لمتممات الوقاية ، خاصة اذا كان تشغيل متمم الوقاية لا يعتمد على قيمة اشارة المدخل ولكن يعتمد على الزمن .

ويعتمد تشغيل جميع دوائر المذبذبات *(Oscillators)* ودوائر المذبذبات متعددة التوافقيات *(Multivibrators)* على التغذية الخلفية الموجبة *(Positive Feed Back)* . وتتكون دوائر المذبذبات متعددة التوافقيات من ترانزستورين (مكبرين) مجهزة بتغذية خلفية موجبة ويكون كسب الدائرة *(Loop gain)* أكبر من الواحد الصحيح ، ومن هذه الدوائر : دائرة عدم الاستقرار *(Astable Circuit)* ، والدائرة أحادية الاستقرار *(Monostable Circuits)* ، والدائرة ثنائية الاستقرار *(Bistable Circuit)* ، وتختلف عن بعضها ، في التكوين والتشغيل والغرض ، ولو قارنا بينهم لوجدنا ان احد الدوائر لا تحتوى على جهد مدخل ، بينما الاخرى تحتوى على جهد مدخل واحد ومخرج واحد ، أما الاخيرة فتحتوى على مدخلين ومخرجين .

ويطلق على دوائر المذبذبات متعددة التوافقيات بأنها دوائر تشغيل الاسترجاع *(Regenerative Switching Circuits)* ، كذلك يطلق نفس الاسم على دائرة كاشف المستوى *(Level Detector Circuit)* . وفيما يلي فكرة عن كل دائرة .

١ - دائرة كاشف المستوى *Level Detector Circuit*

يقارن كاشف المستوى بين اشارة مدخل مترددة ومستوى جهد المرجع *(d . c datum)* وتصمم الدائرة بحيث يكون لها نسبة استعادة *(Reset Ratio)* منخفضة ، الى الوضع الاصلى . وتعمل الدائرة تبعاً للحالتين الاتيتين :

- إذا كانت اقصى قيمة لموجة المدخل اقل من قيمة جهد المرجع فان مخرج الدائرة يكون مساوياً للصفر .

- إذا كانت اقصى قيمة لموجة المدخل أكبر من أو تساوى قيمة جهد المرجع فان مخرج الدائرة يكون قيمة محددة ، وتعرف هذه القيمة بمستوى التشغيل *(Operating level)* . وتعتمد فترة استمرار موجة المخرج على قيمة نسبة الاستعادة الى الوضع الاصلى .

يوضح شكل (١-٤) موجة المدخل (١) أكبر من قيمة مستوى التشغيل ، بينما موجة المدخل (٢) لها أقصى قيمة مساوية لقيمة مستوى التشغيل (وتعرف بالقيمة الحرجة) .

كذلك يوضح الشكل مستوى التشغيل ومستوى الاستعادة . وفترة استمرار موجة المخرج في حالتي موجتي المدخل (١) ، (٢) هي t_1 ، t_2 على التوالي .

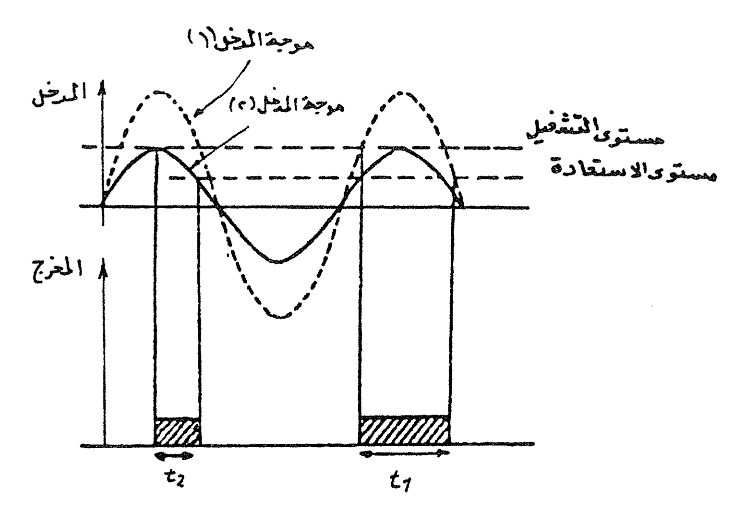
ومن ابسط دوائر كاشف المستوى الدائرة الموضحة بشكل (٢-٤) ومنه نلاحظ أن جهد المدخل تم توحيده أولا . والغرض من الدائرة هو تشغيل ملف متمم الفصل *(Trip relay)* عن طريق تشغيل الترانزستور ، أى وصوله الى حالة التوصيل . وعلى ذلك توجد الحالتين الآتيتين :

- إذا كان جهد القاعدة سالب عن طريق جهد حياز *(Bais Voltage)* ، أى أن قيمة المدخل لا تستطيع التغلب على جهد الحياز ، بمعنى آخر قيمة المدخل أقل من قيمة جهد مستوى تشغيل الترانزستور وهنا فان الترانزستور يكون فى حالة فصل ، وبالتالى لا يعمل ملف متمم الفصل .

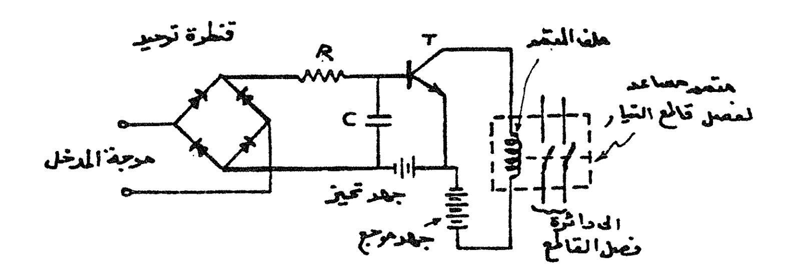
- إذا تغلبت اقصى قيمة لموجة المدخل على قيمة جهد الحياز ، اى تعدت قيمة جهد مستوى تشغيل الترانزستور ، فان الترانزستور يتحول الى حالة التوصيل ويعمل على تشغيل ملف متمم الفصل *(Trip Relay)* بواسطة جهد المرجع *(d . c)* .

- عند انخفاض قيمة موجة المدخل الى قيمة جهد مستوى الاستعادة فان الترانزستور يتحول الى حالة الفصل وبالتالى يعود ملف متمم الفصل الى حالته الاصلية . ويمكن التحكم فى تغيير قيمة مستوى التشغيل وقيمة مستوى الاستعادة عن طريق تغيير قيمة المقاومة R (يتم استبدالها بمقاومة متغيرة) وتغيير قيمة جهد الحياز .

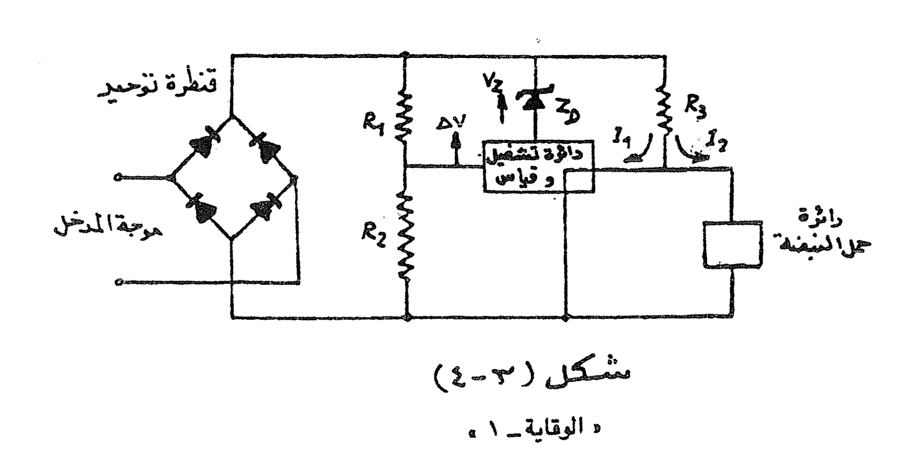
وتعتبر دائرة كاشف المستوى الحرج *(Critical Detector)* ، من الدوائر شائعة الاستخدام ايضاً ، كما فى شكل (٣-٤) . وتتكون الدائرة من دائرتى تشغيل وقياس *(Measuring and Switching Circuit)* ودائرة نبضة الدمج *(Pulse Integrating Circuit)* . ويقسم مخرج قنطرة التوحيد الى مسارين I_1 ، I_2 ، فى الحالة العادية ، أى قبل الوصول الى قيمة مستوى التشغيل الحرج ، وتكون دائرة التشغيل والقياس فى حالة توصيل بالكامل وبذلك يكون التيار I_2 مساوياً للصفر ويكون جهد المرجع V_Z تياراً مستمراً ، نتيجة وجود زينرديود Z_D ، عند مستوى المدخل الحرج ، ويتم التحكم ببطئ فى حمل المخرج عن طريق تغيير المقاومة R_3 والتى تجهز جهد دائرة التشغيل والقياس خلال R_2 ، R_1 . فاذا تعدى الجهد الحادث على المقاومة R_1 جهد المرجع V_Z بكمية



شكل (١-٤)



شكل (٢-٤)



شكل (٣-٤)

صغيرة تساوى ΔV ، تكفى لتشغيل دائرتى التشغيل والقياس فان هذا الجهد الحادث يعرف بالمستوى الحرج . وهذا يؤدى الى ان تصبح كل من دائرة التشغيل والقياس مقاومة كبيرة وبالتالى يمر التيار I_2 فى دائرة نبضة الدمج . وتزيد لحظة التشغيل قيمة المدخل خلال R_1 الى قيمة تعتمد على معاوقة مدخل دائرة نبضة الدمج ، بالنسبة لقيمة المقاومة R_3 .

وتعتبر الدائرة الآتية من دوائر كاشف المستوى الشهيرة :

٢ - دائرة اطلاق "شميت" "Schmitt" Trigger

تتكون الدائرة من ترانزستورين متصلين بالتتابع ، أى أن مخرج الترانزستور الأول يغذى الترانزستور الثانى ، وتحتوى الدائرة على مقاومة R_f تستخدم كتغذية خلفية (التغذية الخلفية تكون موجبة فى حالة الترانزستور من النوع PNP كما فى شكل (٤-٤) أو سالبة فى حالة الترانزستور من النوع NPN كما فى شكل (٤-٥) وسنوضح فيما يلى الدائرة المبينة فى شكل (٤-٤) ، فالباعثان E_1 ، E_2 متصلان معاً بجهد سالب من خلال المقاومة R_f وتعمل الدائر كالآتى :

أ - الوضع العادى للتشغيل : يوجد جهد مرجع V_{cc} ولا يوجد جهد عند المدخل :

الترانزستور T_1 فى حالة فصل (OFF) .

الترانزستور T_2 فى حالة توصيل (ON) فى منطقة التشبع نتيجة جهد التجزئ على المقاومات R_1 -R_2- R_3 .

ويكون الجهد الناتج على المقاومة R_f (أى جهد الباعث) يساوى :

$$V_{E_2} = \frac{(V_{cc} - V_{cEon})}{R_f + R_4} \quad R_f$$

ويعرف هذا الجهد بانه جهد أعلى اطلاق (Upper Trigger Potential) ويرمز له بالرموز UTP كما فى شكل (٤-٦) .

ب - وعند تسليط نبضة موجبة على مدخل قاعدة الترانزستور T_1 لقيمة مساوية بالتقريب للقيمة $(V_{E2} + V_{BEon})$.

يصبح الترانزستور T_1 موصلا *(ON)* ويسرع لحالة التشبع نتيجة التغذية الخلفية الموجبة من خلال المقاومة R_f .

أما الترانزستور T_2 فيتحول الى حالة الفصل *(OFF)* ويزداد جهد المخرج V_o من القيمة $(V_{E2} + V_{cEon})$ الى القيمة V_{cc} وتعرف هذه القيمة بأنها قيمة جهد اللقط *(Pick up)* . ويصبح الجهد على المقاومة R_f (أى جهد الباعث)

$$V_{E1} = \frac{(V_{cc} - V_{cEon})}{R_f + R_1} \; R_f$$

ويعرف هذا الجهد بأنه جهد اقل اطلاق *(Lower Trigger Potential)* ويرمز له بالرموز *LTP* .

(عندما تكون R_1 أكبر من R_4 فان V_{E2} تكون اكبر من V_{E1}) .

ج – وعند تقليل جهد المدخل V_1 تعود الدائرة الى وضعها الأول (الأصلي) ، أى T_1 يصبح مفصولا ، T_2 موصلا .

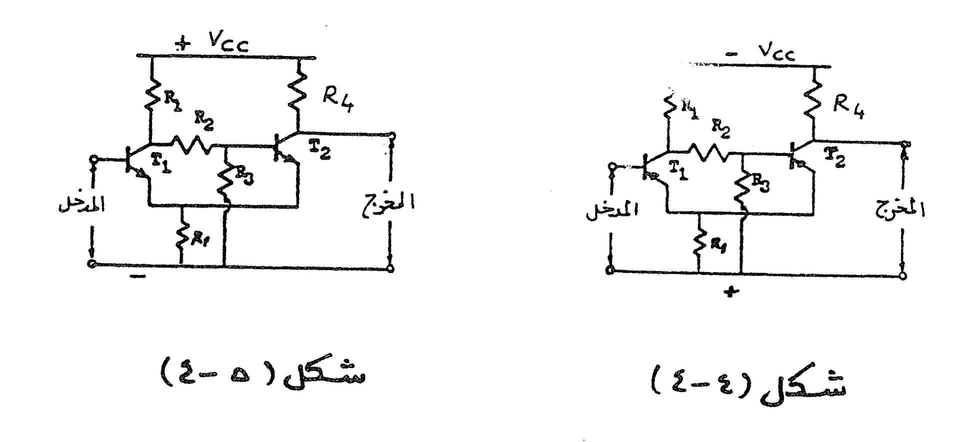
وعندما تكون قيمة جهد المدخل V_1 مساوياً الجهد $(V_{E2} + V_{BEon})$ تسمى هذه الحالة حالة الاستعادة *(reset)* والتى يبدأ عندها عودة الدائرة الى حالتها الاصلية .

ويوضح شكل (٦-٤) موجة اشارة المدخل ، عند وصولها الى قيمة معينة ، فعند النقطة *A* مثلا ، يحدث لقط ، اى يكون الترانزستور T_1 موصلا بينما الترانزستور T_2 مفصولا ونحصل على قيمة مخرج V_o مساوية للقيمة V_{cc} عند انخفاض المدخل الى النقطة *B* مثلا ، فتحدث الاستعادة ، اى يكون الترانزستور T_1 مفصولا بينما الترانزستور T_2 موصلا . ومن هنا جاءت تسمية هذه الدائرة بكاشف المستوى . وتماثل هذه الدائرة عنصر الضبط *Setting* فى متممات الوقاية الكهرومغناطيسية .

٣- دائرة عدم الاستقرار *Astable Circuit*

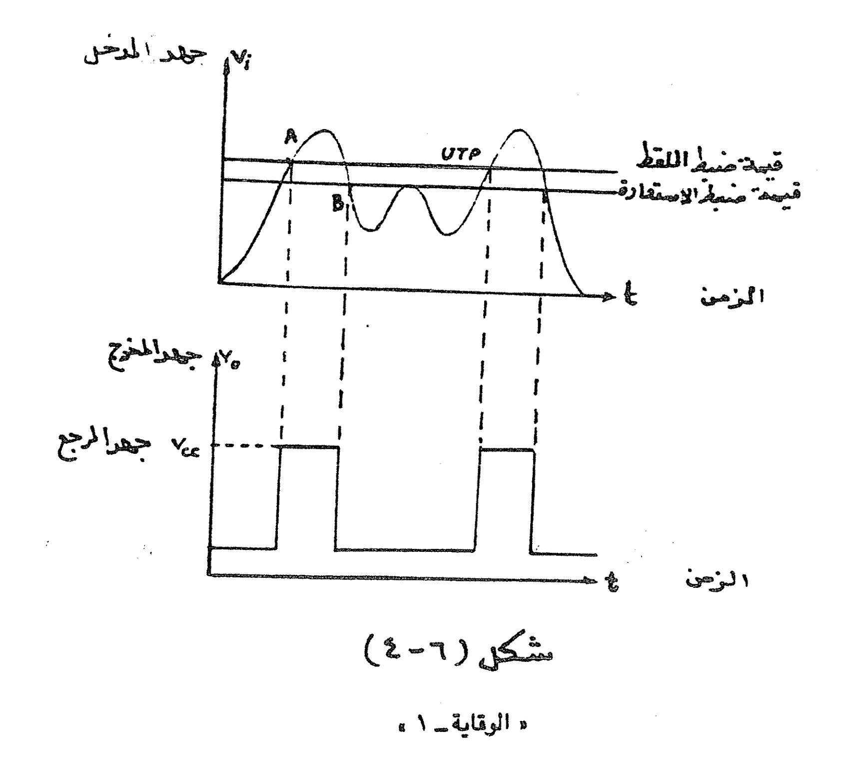
لا تحتوى هذه الدائرة على اشارة مدخل *(a . c)* لتشغيل الترانزستور ، ونحصل منها على مخرج على شكل موجة مربعة .

وتتكون الدائرة من ترانزستورين *PNP* ، كما فى شكل (٧-٤)أ ، وتربط قاعدة



شكل (٥ -٤)

شكل (٤-٤)



شكل (٦-٤)

كل ترانزستور بمجمع الترانزستور الاخر من خلال مكثف ربط C_1 ، C_2 . وعند تسليط جهد الحياز $(d . c)$ فيصبح أى من الترانزستور T_1 أو الترانزستور T_2 كمفتاح فى حالة توصيل (ON) .

ولو فرضنا أن T_1 أصبح فى حالة توصيل أولا ، فان R_1 ، C_1 تشحن بانتظام حتى يصبح جهد قاعدة T_2 موجباً وعلى ذلك يكون الترانزستور T_2 فى حالة فصل ، بينما يصبح جهد مجمع T_2 سالباً والذى يتسبب فى تغذية خلفية لقاعدة الترانزستور T_1 لاستمرار احتفاظه موصلا . وبمرور الوقت يحدث تفريغ للمكثف C_1 وتشحن المجموعة R_2 ، C_2 مما يؤدى الى ان يصبح T_1 كمفتاح فى حالة فصل (OFF) ، عندئذ تحدث تغذية خلفية سالبة لقاعدة T_2 ويصبح كمفتاح فى حالة توصيل (ON) ، وهكذا تتتابع هذه العملية بين T_1 ، T_2 ويحدث مخرج على مجمع كل منهما على شكل موجة مربعة باختلاف وجهى 180^o .

ويوضح شكل (٧-٤)ب نفس دائرة عدم الاستقرار ولكن باستخدام ترانزستورين (من النوع NPN) . وتعمل الدائرة بنفس الفكرة فى شكل (٧-٤)أ ولكن مع تغيير قطبية التيار المستمر فقط .

والزمن الذى يكون فيه الترانزستور T_1 موصلا هو نفس الزمن الذى يكون فيه الترانزستور T_2 مفصولا وهذا الزمن يساوى :

$$t_1 = R_1C_1 \log_e 2 = 0.7 R_1C_1$$

بينما زمن توصيل الترانزستور T_2 يساوى :

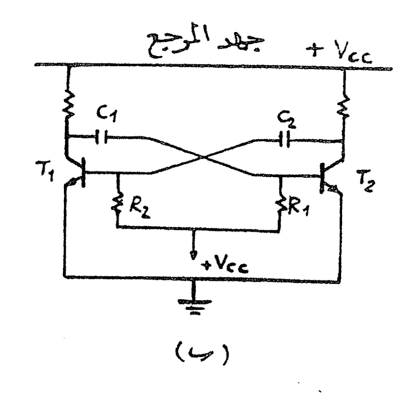
$$t_2 = R_2C_2 \log_e 2 = 0.7 R_2C_2$$

والزمن الكلى للدورة *(Cycle Time)* أو زمن دورة التردد *(Period of Oscillation)* يساوى مجموع زمنى التوصيل t_2 ، t_1

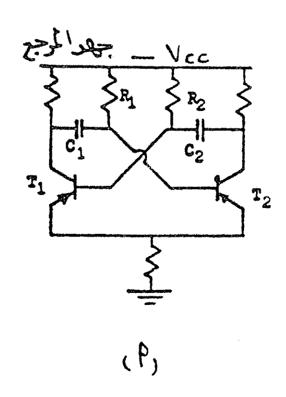
$$T = t_1 + t_2 = 0.7 (R_1C_1 + R_2C_2)$$

فى حالة $C_1 = C_2 = C$ ، $R_1 = R_2 = R$ يمكن الحصول على موجة مربعة متماثلة لها زمن كلى يساوى :

$$T = 1.4\, RC$$

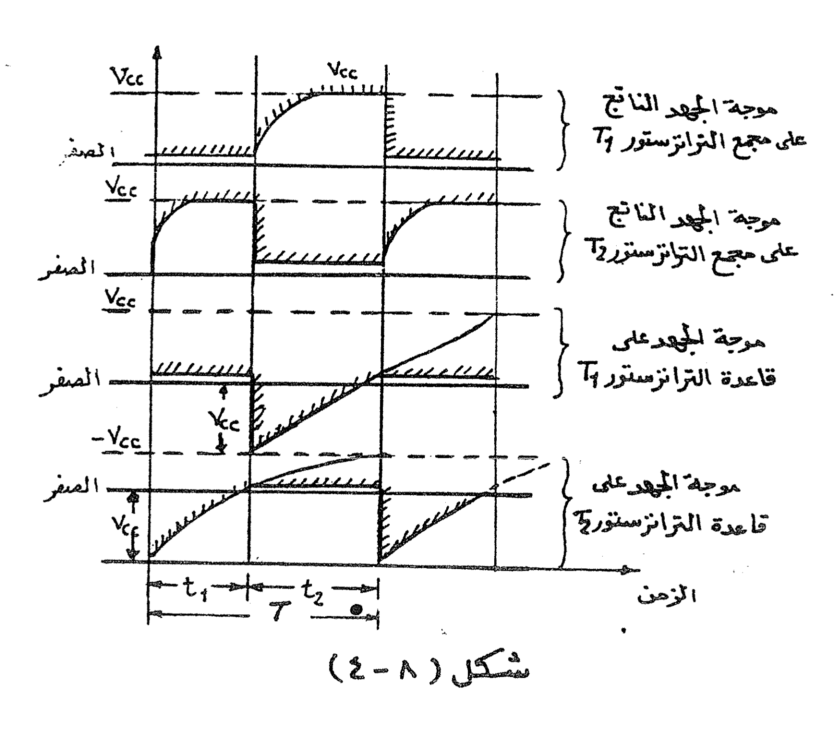


(ب)



(أ)

شكل (٧-٤)



شكل (٨-٤)

ويوضح شكل (٩-٣) اشكال موجات الجهد الناتجة على مجمع وقاعدة كل ترانزستور وموضحاً الأزمنة t_1 ، t_2 كذلك .

كما يجب ألا تزيد قيمة الجهد السالب على القاعدة ، من خلال التشغيل ، عن V_{cc} وألا يحدث جهد انكسار عكسي للوصلة بين القاعدة والباعث لكل ترانزستور . لذلك يجب إضافة ديود كوقاية لهذه الظاهرة وكل ديود يوصل على التوالى سواء مع القاعدة أو مع الباعث ويفضل توصيله مع الباعث لتجنب مخاطر زمن فصل الترانزستور ، وخصوصاً لو حدث فصل للديود قبل الترانزستور .

٤ - دائرة احادية الاستقرار *Monostable Circuit*

يفهم من اسم الدائرة أن لها حالة استقرار واحدة ، اما الحالة الاخرى فهى حالة شبه استقرار *(quasi - stable state)* . ويوضح شكل (٩-٤) مكونات الدائرة ، والتى تحتوى على ترانزستورين من النوع *PNP* ، وترتبط قاعدة الترانزستور T_1 بمجمع الترانزستور T_2 من خلال المقاومة R_2 ، بينما ترتبط قاعدة T_2 بمجمع T_1 بواسطة المكثف C . ففى حالة وجود جهد المرجع V_{cc} ومن خلال المقاومات R_1 - R_2 - R_3 يكون T_1 فى حالة توصيل بينما يعمل T_2 كمفتاح فى وضع فصل *(OFF)* وهذه هى حالة الاستقرار العادية للدائرة . وعند تسليط جهد موجب على مدخل T_1 يحدث تغيير سريع الى حالة الفصل ، وهذا يؤدى الى ظهور اشارة سالبة على القاعدة T_2 من خلال شحن المجموعة C - R_4 وبالتالى يتحول T_2 الى حالة التوصيل *(ON)* ويتسبب فى تسليط اشارة تغذية خلفية موجبة ، من خلال R_2 ، والتى تعمل على حفظ T_1 فى حالة فصل (وذلك بعد انتهاء اشارة المدخل) . ومن هنا جاءت تسمية حالة شبه استقرار . بعد فترة زمنية ، يفرغ المكثف C خلال المقاومة R_4 وتعود الدائرة الى حالتها العادية . ويمكن حساب زمن بقاء حالة شبه الاستقرار من العلاقة $T = 0.32\ R_4C$ ، وتستخدم هذه الدائرة للحصول على نبضات ممتدة *(pulse stretcher)* ، من اشارة نبضة قصيرة لمدة زمنية معينة ، لمقارنتها مع اشارات مدخل اخرى فى المتممات الاستاتيكية .

يوضح شكل (١٠-٤) دائرة احادية الاستقرار ، تستخدم للحصول على نبضات قياسية لها مدى عشوائى أو تستخدم فى توليد نبضات يمكن التحكم فى مداها (width) أو فى المتممات الزمنية وكما هو واضح من الشكل فان T_2 يرتبط مع T_1 بدائرة المدخل (a . c) ويتسبب جهد مصدر حياز القاعدة V_{cc} للترانزستور T_2 أن يصبح موصلا . وهذه حالة الاتزان التى تتحقق اذا حققت R_t الشرط :

$$\frac{V_{cc}}{R_t} \geq \frac{V_{cc}}{h_{fE} R_c}$$

او

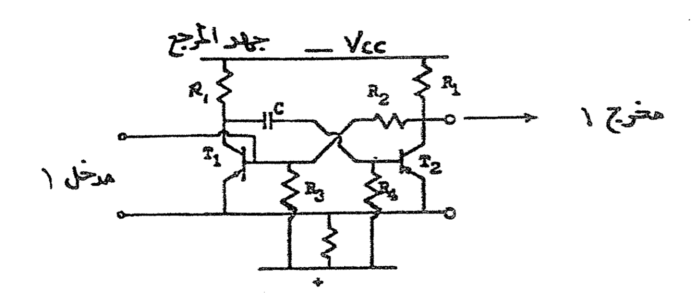
$$R_t < h_{fE} R_c$$

وعندما يصبح T_2 موصلا فان V_{BB} يتسبب فى ان يكون T_1 فى حالة فصل . ويشحن المكثف C_t حتى يصل الى القيمة V_{cc} تقريباً . ونختار المقاومة R_1 بحيث تعمل على ان يكون T_1 فى حالة توصيل عندما تتغير حالة T_2 الى الفصل ، كنتيجة لزوال النبضة السالبة . فاذا اصبح T_1 فى حالة توصيل فان قاعدة T_2 تصبح سالبة بقيمة مساوية للكمية V_{cc} وتظل T_2 فى حالة فصل نتيجة شحن المكثف C_t فى اتجاه $+V_{cc}$ خلال المقاومة R_t ، وتتغير حالة T_2 الى حالة التوصيل مرة ثانية عندما يصل الجهد على المكثف C_t الى الصفر ، وهذا يؤدى الى أن يصبح T_1 فى حالة توصيل وتعود الدائرة الى حالة الاستقرار . ويكون مخرج الدائرة تقريباً هو الجهد بين المجمع والباعث وهو عبارة عن نبضة عالية لها مدى T يساوى .

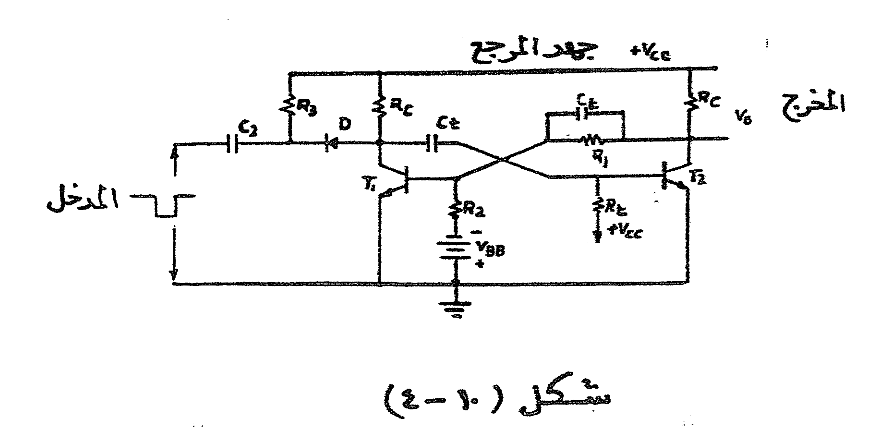
$$T = R_t C_t \log_e 2 = 0.7 R_t C_t$$

ولو فرضنا ان المكثف C_t يشحن حتى القيمة V_{cc} عندما تكون T_1 فى حالة فصل ، بينما T_2 يكون فى حالة توصيل عند وصول قيمة جهد المكثف C_t الى الصفر .

يمكن التحكم فى مدى (أو اتساع) نبضة المخرج من خلال ضبط قيم R_t أو C_t أو الاثنين معاً بحيث يحافظ على الشرط $R_t \leq h_{FE} R_C$ أما اذا كانت $R_t > h_{FE} R_c$ فان الدائرة تصبح فى حالة عدم استقرار (Astable) . وعند توليد نبضات ذات تأخير



شكل (٩-٤)



شكل (١٠-٤)

زمنى فان نبضة مخرج الدائرة تكون تفاضلية .

٥ - دائرة ثنائية الاستقرار *Bistable Circuit*

أو دائرة النطاط *or Flip - Flop Circuit*

من تسمية الدائرة فان لها حالتين تشغيل الاستقرار . وتتكون الدائرة كما فى شكل (١١-٤) من ترانزستورين من النوع *PNP* يرتبط كل منهما بالاخر بواسطة مقاومة . يظل احد الترانزستوران موصلا بينما الاخر مفصولا حتى يتم تغيير الحالة عن طريق تسليط اشارة خارجية على المدخل . ويمكن أخذ المخرج من مجمع أحدهما .

وعند توصيل حياز (*d . c*) يصبح أحد الترانزستورين موصلا ، بفرض أن T_1 أصبح موصلا اولا ، عن طريق المقاومتين R_3 ، R_2 ، المتصلتين بقاعدة الترانزستور T_2 ، يصبح T_2 فى حالة فصل .

لو سلطنا الآن نبضة موجبة على المدخل ١ ، فان T_1 يصبح فى حالة فصل بينما T_2 يتحول الى حالة توصيل ، وذلك عن طريق المقاومات $R_3 - R_2 - R_1$ ، هذه الحالة تستمر حتى لو عزلنا اشارة المدخل ١ . ويمكن الرجوع الى الحالة الاصلية عن طريق تسليط نبضة موجبة على المدخل رقم ٢ .

تستخدم هذه الدائرة كوحدة حاجز كهربى (*Electrical Latch*) أو كوحدة ذاكرة (*Memory Unit*) ، تعمل على تذكير أخر اشارة مستقبلة وتستمر تبعاً لأى حالة استقرار . يمكن فتح الحاجز الكهربى أو مسح الذاكرة عن طريق تسليط اشارة مدخل أخرى بالجانب الآخر .

يمكن احياناً استخدام اشارة مدخل واحدة لنقل اشارات لمدخل آخر بالتناوب بمساعدة دائرة مقود الديود (*Diode Steering Circuit*) كما فى شكل (١٢-٤) وبفرض توصيل سلسلة اشارات موجبة على المدخل ، فان النبضات المتتالية تأخذ طريقها الى الترانزستور T_1 ، T_2 معتمدة على ان يكون اى منهما ذا جهد قاعدة سالب بالنسبة للباعث المشترك . وتستخدم هذه الطريقة فى العدادات الرقمية (*Digital Counters*) .

بتوصيل عدد من دوائر ثنائية الاستقرار بالتتابع ، يمكن الحصول على عدة نبضات كبيرة . فيستخدم مخرج احد الدوائر ثنائية الاستقرار لتغذية الدائرة التالية وهكذا ... للحصول على دوائر تتابع .... ويعطى كل ترانزستور نبضة مخرج موجبة فقط فى حالة

تغير تتابعى (مثلا من حالة الفصل الى حالة التوصيل فى ترانزستور PNP) . وهكذا فلكل اشارتى مدخل نحصل على مخرج واحد فقط مناسب . اذا تم توصيل دائرتين ثنائيتى الاستقرار على التتابع ، فكل رابع اشارة مدخل تسبب تغيير للمخرج . وعند توصيل ثلاثة دوائر على التتابع فان كل ثامن اشارة مدخل تسبب تغيير للمخرج وهكذا ...... وبهذه الطريقة يمكن ايضاً تقسيم الترددات .

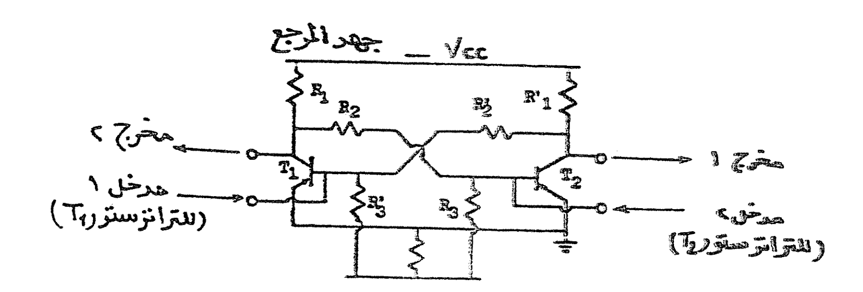
يتم عادة اعطاء دفعات (نبضات) اطلاق على قاعدة الترانزستور من خلال ديود حتى يمكن التخلص من القطبيات غير المرغوبة فى النبضات .

وتعتبر الدائرة ثنائية الاستقرار من الدوائر المستخدمة بتوسع فى متممات الوقاية ، حيث تستخدم كعنصر مخرج لتشغيل متمم ذى ملف مستقطب متحرك *(Polarized Moving Coil Relay)* والذى بدوره يشغل متمم مساعد فى دائرة فصل قاطع التيار .

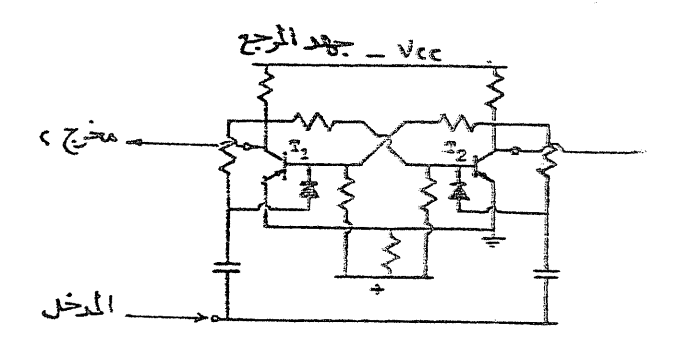
يوضح شكل (١٣-٤) دائرة ثنائية الاستقرار ولكن باستخدام ترانزستورين من النوع *NPN* ، وبتوصيل ملف المتمم المستقطب مع دائرة المجمع لأحد الترانزستورين ، مثلا مع مجمع T_1، بحيث يكون مجموع مقاومة ملف المتمم واية مقاومات مضافة او مستعملة على التوالى تساوى قيمة المقاومة R_c المستخدمة فى مجمع الترانزستور T_2 . وذلك للتأكد ان الترانزستور T_2 يتحول الى حالة التوصيل اولا ، وعند توصيل المفتاح *s* ، فانه يتم توصيل مكثف C_1 على التوازى مع ملف المتمم ومقاومة التوالى . ونتيجة لوجود هذا المكثف اثناء زمن التوصيل فان قاعدة T_2 تساعد فى تسريع عملية التوصيل . فاذا تم تسليط جهد مدخل موجب على قاعدة T_1 فانه يصبح موصلا ، بينما يتغير T_2 الى حالة الفصل . ويصبح متمم الاستقطاب فى وضع لقط ، ويستمر على حالته حتى تعود الدائرة الى حالة الاستعادة *(reset)* ، عن طريق فتح المفتاح *s* او عن طريق تسليط جهد مدخل موجب على قاعدة الترانزستور T_2 .

٦- دائرة الباعث التابع *Emitter Follower Circuit*

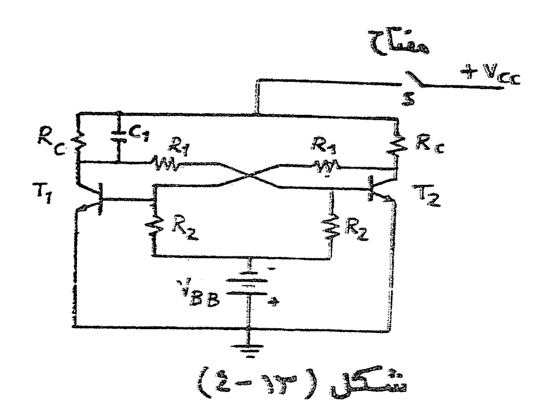
هذه الدائرة مثال لمكبر تغذية خلفية سالبة ، من خصائص هذه الدائرة أن لها كسب صغير ومقاومة مخرج صغيرة . وتستخدم هذه الدائرة اساسا كمرحلة دفع فى وحدة التحكم لمتمم يستعمل لوحدة فصل قاطع تيار يحتاج الى قدرة مرتفعة ، ويوضح الشكل (١٤-٤) هذه الدائرة . عند تسليط جهد مدخل سالب على المدخل فان الترانزستور يصبح



شكل (١١-٤)



شكل (١٢-٤)



شكل (١٣-٤)

موصلا . ويسبب التيار الكبير للمجمع هبوطاً كبيراً (drop) خلال المقاومة R_f ، مما يؤدى الى أن يقل الحياز الامامى بين الباعث والقاعدة ، ولكن عند تسليط جهد مدخل موجب ، فان تيار المجمع يقل وبالتالى يقل الهبوط خلال المقاومة R_f ويؤدى الى ارتفاع قيمة الحياز الامامى بين الباعث والقاعدة ، ويصبح التأثير الكلى ان تتبع اشارة المخرج ، وجهد الباعث ، فوجود المقاومة R_f فى الدائرة يمنع اى تغيير فى اشارة المدخل وتؤدى الى استقرار الدائرة .

٧- دائرة مذبذب *Oscillator Circuit*

تستخدم هذه الحالة احياناً فى متممات الوقاية كمرجع للزمن أو التردد ، ويتم الحصول على فترة زمن التذبذبات عادة بواسطة مقاومة ومكثف . ويوضح شكل (٤-١٥) دائرة مذبذب ارخاء باستخدام ترانزستور أحادى الوصلة *(An UJT Relaxation Oscillator)* . وتستخدم هذه الدائرة لاعطاء نبضة اطلاق *(Firing)* للثيريزتور .

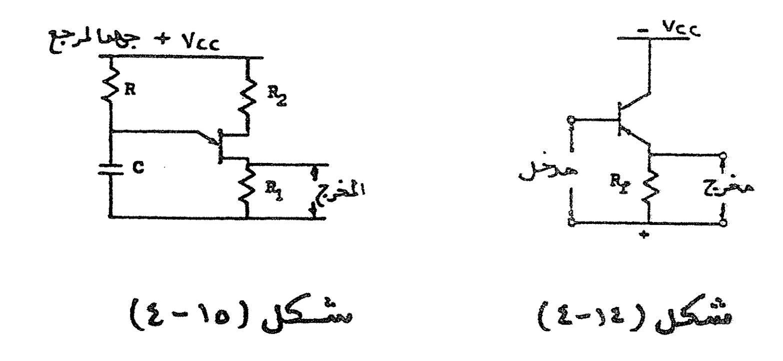
٨ - المكبر الدافعى الجذبى *Push - Pull Amplifier*

تستخدم هذه الدائرة فى متممات المقارنات *(Comparators)* لغرض التكبير الخطى للاشارات الترددية ، ولتجنب تأثير حياز التيار المستمر *(d . c)* وتتكون دائرة المكبر من ترانزستورين موصلين مع محولين كما فى شكل (٤-١٦) . يتناوب الترانزستوران التوصيل فى نصفى الدورة الموجبة والسالبة . فنحصل على مخرج وهو عبارة عن فرق جهد المجمعين للترانزستورين ويكون المخرج متناسباً خطياً مع المدخل . ومن مميزات هذه الدائرة التخلص من اى تشوهات بسبب التوافقيات وذلك عن طريق الحصول على اشارة مخرج متماثلة من الترانزستورين T_2 ، T_1 .

٩- مرشحات التردد *Frequency Filters*

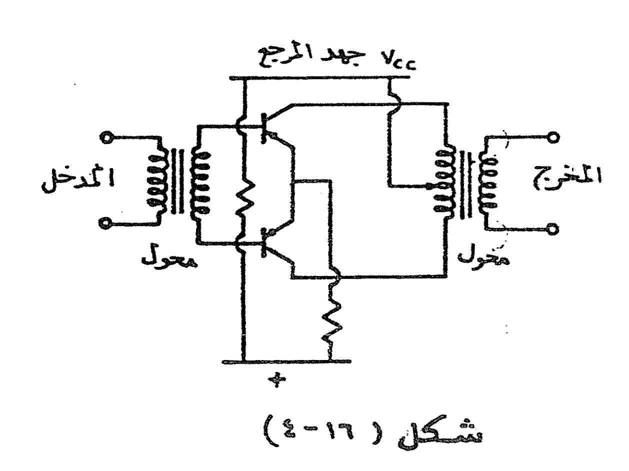
تتكون مرشحات التردد من مكثف أو ملف او الاثنين معاً أو عدد منهما ويستخدم المرشح بغرض السماح لترددات معينة بالمرور خلاله وعدم السماح للترددات الاخرى بالمرور .

يتكون المرشح من فرع توالى أو توازى يوصل بين المدخل والمخرج وابسط وارخص انواع المرشحات هى المرشح الذى يتكون من مكثف فقط أو ملف فقط . ويبين شكلى (٤-١٧)أ ، ب مرشح مكون من مكثف كفرع توالى وفرع توازى ، بينما يبين شكلى



شكل (٤-١٥)

شكل (٤-١٤)



شكل (٤-١٦)

(١٧-٤)ج ، د مرشح عبارة عن ملف . يصمم الملف بحيث يمنع مرور الاشارات ذات الترددات العالية أو كمسار للاشارات ذات الترددات المنخفضة ، بينما يصمم المكثف بحيث يمنع مرور الاشارات ذات الترددات المنخفضة أو يكون كمسار للاشارات ذات الترددات العالية .

ويمكن استخدام مكثف وملف ويوصلان كما فى شكلى (١٨-٤)أ ، ب وتسمى المرشحات فى هذه الحالة مرشحات على شكل حرف (L) .

كذلك يمكن توصيل مكثفات وملفات على شكل حرف (Π) .

ولاستخلاص التوافقيات من اشارة ترددات خاصة تستخدم دائرة مكونة من أكثر من ملف ومكثف ومتصلة كما فى شكلى (١٩-٤)أ ، ب وتعرف بدائرة الرنين *(Resonant Circuit)* ويمكن ان تكون دائرة الرنين توالى أو توازى أو مركبة من الاثنين معاً .

ويوضح شكل (١٩-٤) دائرة رنين توالى وتوازى متصلتين بطريقيتين مختلفتين وتستخدم لمنع مرور ترددات معينة والسماح بمرور ترددات اخرى .

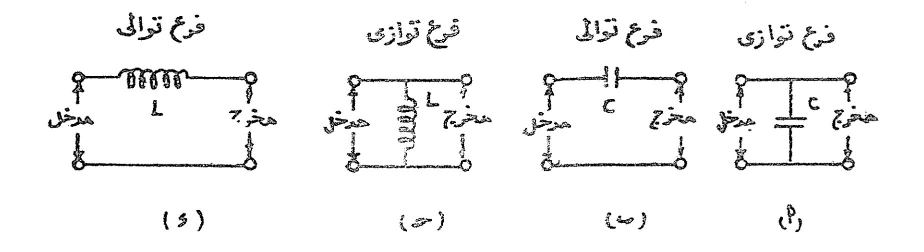
فيما يلى توضيح لدائرة رنين توالى وأخرى توازى كل على حدة :

عند توصيل مكثف وملف على التوازى ، كما فى شكل (٢٠-٤)أ ، يعرف المرشح بانه دائرة رنين توازى *(Parallel Resonant Circuits or Tuned Circuits)* وعند تسليط جهد V_i ، على دائرة الرنين ، له تردد رنين ω_o ، تخضع هذه الدائرة لحالتين هما :

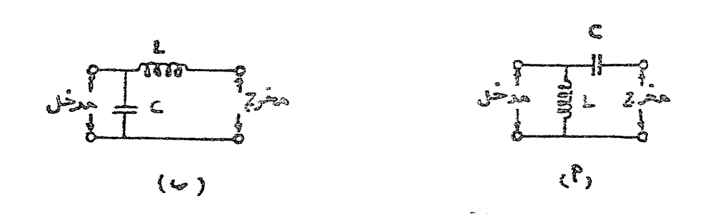
- عند تساوى تردد المصدر ω_o مع تردد الدائرة ω (ويساوى $1/\sqrt{LC}$) تصبح معاوقة الدائرة مساوية للصفر وتعتبر كنقطة تلامس مقفولة كما فى شكل (٢٠-٤)ب .

- عندما لا يتساوى الترددين ω_o ، ω تصبح معاوقة الدائرة كبيرة وتعتبر كنقطة تلامس مفتوحة كما فى شكل (٢٠-٤)جـ .

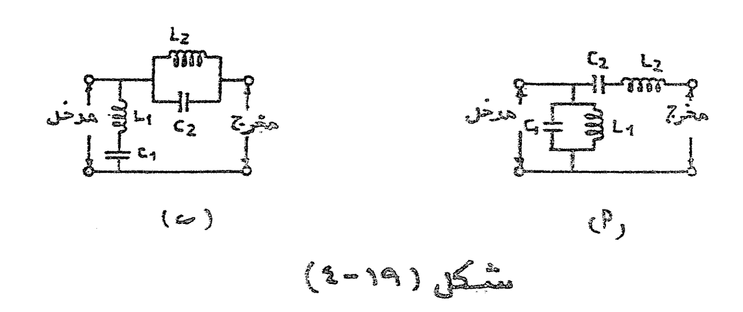
ولكن عند توصيل مقاومة وملف ومكثف على التوالى نحصل على دائرة رنين توالى *(Series Resonant Circuit)* كما فى شكل (٢١-٤) وتسلك هذه الدائرة نفس سلوك الدائرة السابقة ، أى عندما $\omega_o = \omega = 1/\sqrt{LC}$ تصبح معاوقة الدائرة صفراً وتسمح بمرور الترددات ، وعندما $\omega_o \neq \omega$ تصبح معاوقة الدائرة كبيرة جداً ولا تسمح بمرور الترددات وتسمى المرشحات فى هذه الحالة بالمرشحات غير الفعالة *(Passive*



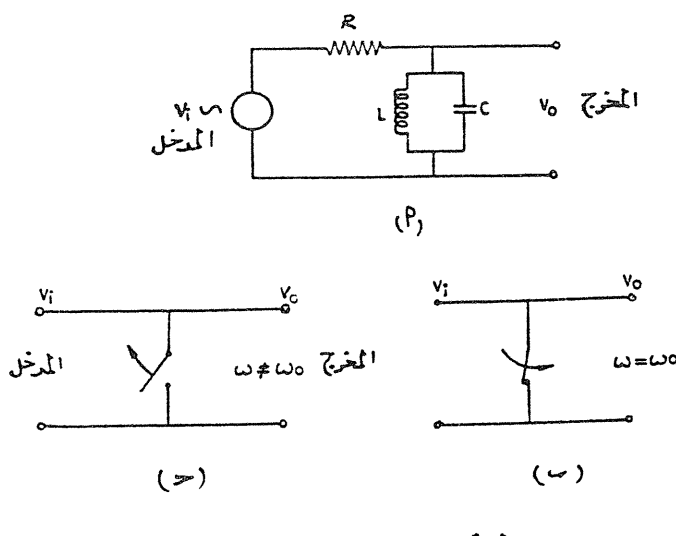
شكل (١٧-٤)



شكل (١٨-٤)



شكل (١٩-٤)



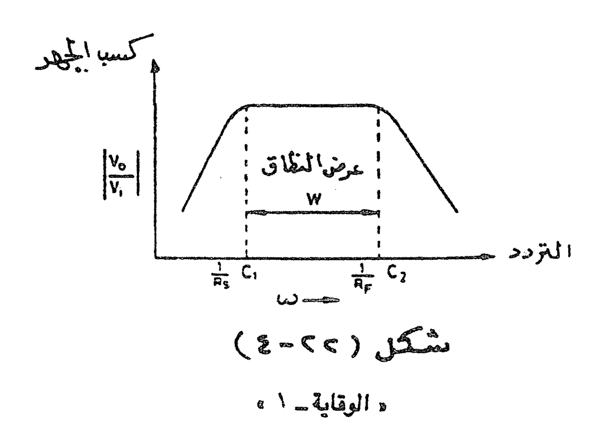
شكل (٢٠-٤)

المدخل Vi R L C ωo Vo المخرج

المخرج

المدخل Vi Vo ω=ωo Vi Vo ω≠ωo

شكل (٢١-٤)



شكل (٢٢-٤)

. Filters)

أما اذا احتوت المرشحات على عناصر فعالة مثل المكبرات التشغيلية *(Operational Amplifier)* فتسمى بالمرشحات الفعالة *Active Filter* . فى هذه الحالة توجد حدود لتمرير الترددات مثلا بين ω_1 ، ω_2 كما فى شكل (٢٢-٤) بينما لا تمر الترددات فى الحدود الاخرى ، وتسمى المسافة ω عرض النطاق *(Bandwidth)* .

١٠- دوائر التأخير الزمنى Time Delay Circuit

تتكون دوائر التأخير الزمنى من تركيبة مناسبة من مقاومة ومكثف أو أكثر . وتعتمد الفكرة على شحن وتفريغ المكثف ، ويخضع المكثف للعلاقة :

$$Q = CV$$

$$V = Q / C$$

$$= \frac{1}{C}\int idt = \frac{1}{RC}\int Vdt$$

حيث Q = الشحنة

C = سعوية المكثف

V = الجهد بين طرفى المكثف

i = التيار المار بالمكثف

يوضح شكل (٢٣-٤) مكثف C ومقاومة R ، يشحن المكثف بتسليط جهد المدخل V_i عليه .

ونحصل على زمن شحن المكثف من العلاقة :

$$T = RC \log_e V_i / (V_i - V_o)$$

حيث T = زمن شحن المكثف (من قيمة الجهد V_o الى الجهد V_i)

V_o = القيمة الأولية للجهد على المكثف C

V_i = القيمة النهائية للجهد على المكثف C (جهد المدخل)

ويمكن الحصول على قيم زمنية صغيرة جداً ، عدد قليل من الميكروثانية ، كذلك يمكن

الحصول على أزمنة طويلة حتى ساعة كاملة مثلا ، ويعتمد ذلك على نوع الدائرة المستخدمة . وتوجد دوائر متعددة منها :

يوضح شكل (٢٤-٤) دائرة مكونة من عدد من المقاومات والمكثفات متصلة على شكل حرف Π ومتتابعة وتسمى هذه الدائرة بدائرة خط تأخير *Delay Line* ويمكن الحصول منها على تأخير زمنى صغير جداً عبارة عن عدد قليل من الميكروثانية .

ويوضح شكل (٢٥-٤) دائرة تأخير زمنى تعرف بدائرة الرنين *(Resonant Circuit)* ويمكن الحصول منها على قيمة معتدلة للزمن عبارة عن عدد من المللى ثانية .

ويوضح شكل (٢٦-٤) دائرة تأخير زمنى تعرف بدائرة *RC (RC Circuit)* حيث استخدم ترانزستور مع الدائرة ، وهى اكثر الدوائر شيوعاً ، حيث يمكن عن طريقها الحصول على أزمنة طويلة ، عدد من الدقائق ، كما يمكن الوصول الى فترة ساعة كاملة .

١١ - دائرة كاشف التقاطع الصفرى مع المحور الافقى

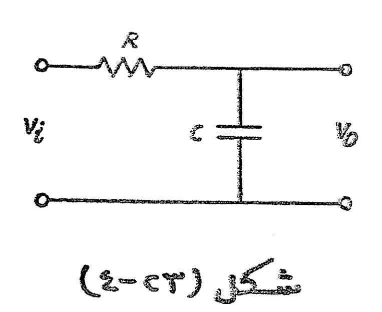
Zero Crossing Detector
or
Squaring Pulsing Circuit **أو دائرة النبضات المربعة**

يتم عن طريق هذه الدائرة تحويل موجة مترددة أو موجة جيبية الى موجة مربعة كما فى شكل (٢٧-٤) حيث أن موجة المدخل عبارة عن موجة مترددة منتظمة أو غير منتظمة ، والمخرج يكون سلسلة متتالية من موجات مربعة على فترات تعتمد على تقاطع موجة المدخل مع المحور الافقى (التقاطع الصفري) .

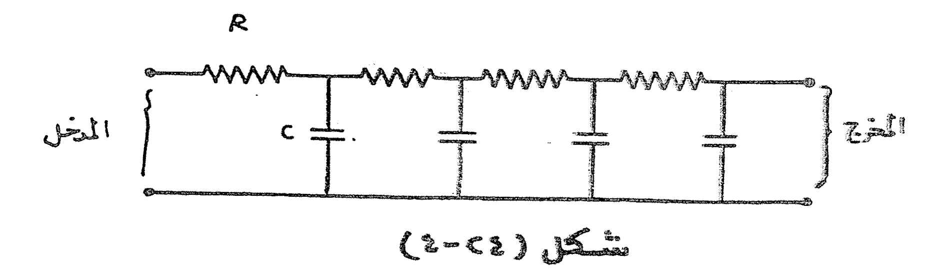
يتم تحويل الموجة المربعة الى نبضات حادة *(Sharp pulses)* ، عند نفس نقط التقاطع مع المحور الافقى ، عن طريق استخدام دائرة تفاضل *(Differentiator)* أو باستخدام دائرة احادى الاستقرار ذو دفعة واحدة *(One shot monostable circuit)* .

عموما يوجد دوائر متعددة للحصول على موجات مربعة سنذكر بعضها فيما يلى :

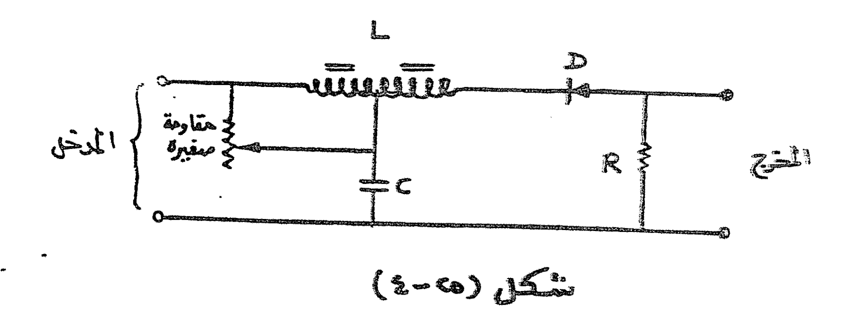
يوضح شكل (٢٨-٤)أ دائرة مكونة من ترانزستور ، يتم تسليط موجة جيبية على قاعدة الترانزستور ، فى نصف الموجة السالبة يصبح الترانزستور فى حالة توصيل ، ونحصل على مخرج بقيمة مساوية لجهد المرجع ، بينما فى نصف الموجة الموجبة للمدخل يكون الترانزستور فى حالة فصل ويكون المخرج مساوياً للصفر ويعتمد تيار القاعدة



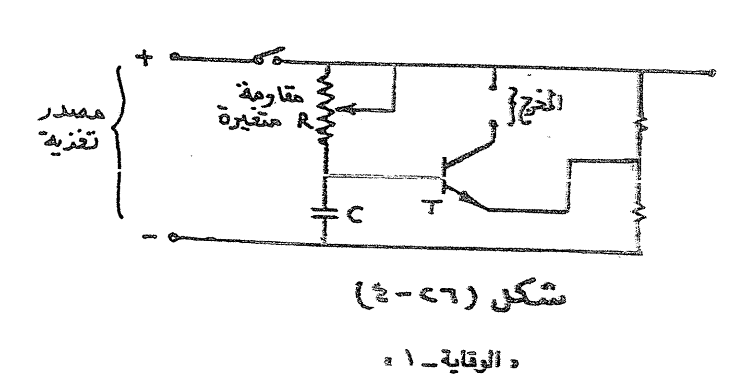
شكل (٢٣-٤)



شكل (٢٤-٤)



شكل (٢٥-٤)



شكل (٢٦-٤)

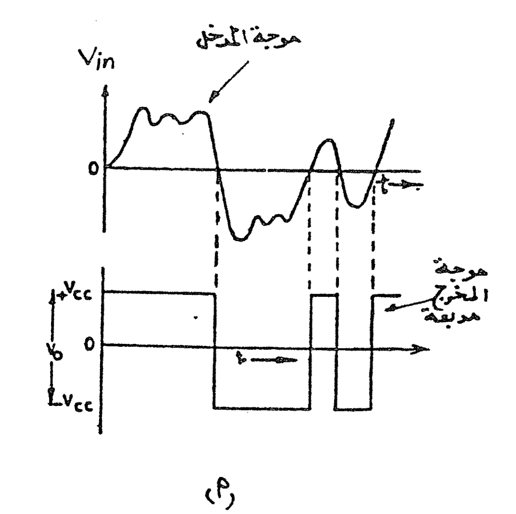
علي قيمة المقاومة R_c فكلما كانت كبيرة كلما كانت موجة المخرج ذات قمة مسطحة أكثر *(Flat tapped)* ويوضح شكل (٢٨-٤)ب موجة المدخل ـ تيار المدخل (تيار القاعدة) موجة المخرج والذي يكون علي شكل موجة مربعة .

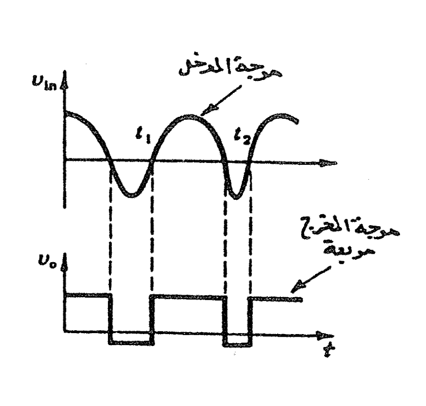
يوضح شكل (٢٩-٤) أ دائرة أخري مكونة من ترانزستورين ـ تم توصيل الباعثين معاً ـ وتسلط موجة جيبية علي قاعدة الترانزستور T_1 ، يكون الترانزستور T_1 في حالة الفصل عندما تكون نصف موجة المدخل موجبة بينما يكون الترانزستور T_2 في حالة التوصيل ـ عندئذ نحصل علي موجة مربعة موجبة علي مخرج مجمع T_2 بقيمة مساوية لجهد المرجع ، بينما تكون موجة مخرج مجمع T_1 موجة مشوهة وفي اتجاه عكس موجة مخرج T_2 . يوضح شكل (٢٩-٤)ب موجات هذه الدائرة وهى عبارة عن موجة مدخل ـ تيار القاعدة ـ موجة المخرج . ويلاحظ فى هذه الحالة ان موجة المخرج وموجة المدخل فى اتفاق وجهى *(In phase)* (وذلك نتيجة وجود الترانزستورين) .

فى شكل (٣٠-٤)أ تم اضافة ديود لدائرة الترانزستور ، تسلط موجة مترددة علي المدخل ، في نصف الموجة الموجبة يكون الترانزستور في حالة فصل ، بينما في نصف الموجة السالبة يكون الديود في حالة فصل ، يمر تيار ثابت خلال القاعدة قيمته V_{cc}/R_s . ويتم الحصول علي موجة مخرج مربعة في اتجاه عكس نصف الموجة السالبة للمدخل كما في شكل (٣٠-٤)ب .

يلاحظ في جميع الدوائر السابقة ان موجة المخرج علي شكل موجة مربعة ولذلك يطلق ايضاً علي هذه الدوائر اسم دوائر توليد موجات مربعة *(Square Wave Generator Circuits)* .

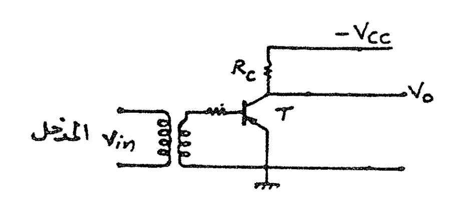
ويمكن تحويل الموجات المربعة الي نبضات حادة *(Sharp pulses)* باستخدام دائرة بسيطة جداً مكونة من مكثف ومقاومة (دائرة تكامل أو دائرة أحادي الاستقرار) أو بمعني أخر يتم تحويل موجة مترددة جيبية الي موجة مربعة ثم الي نبضات حادة وذلك عند مواضع تقاطع الموجة الجيبية مع المحور الافقي (عند تغيير الموجة من قيمة موجبة الي قيمة سالبة أو من قيمة سالبة الي قيمة موجبة) ففي شكل (٣١-٤)أ عند تسليط موجة مربعة علي مدخل دائرة مكونة من مكثف ومقاومة نحصل علي مخرج على شكل نبضات حادة .

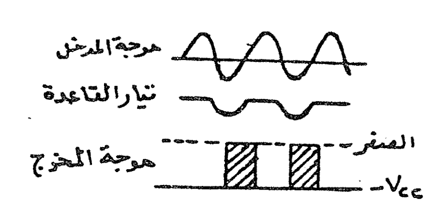




(أ) (ب)

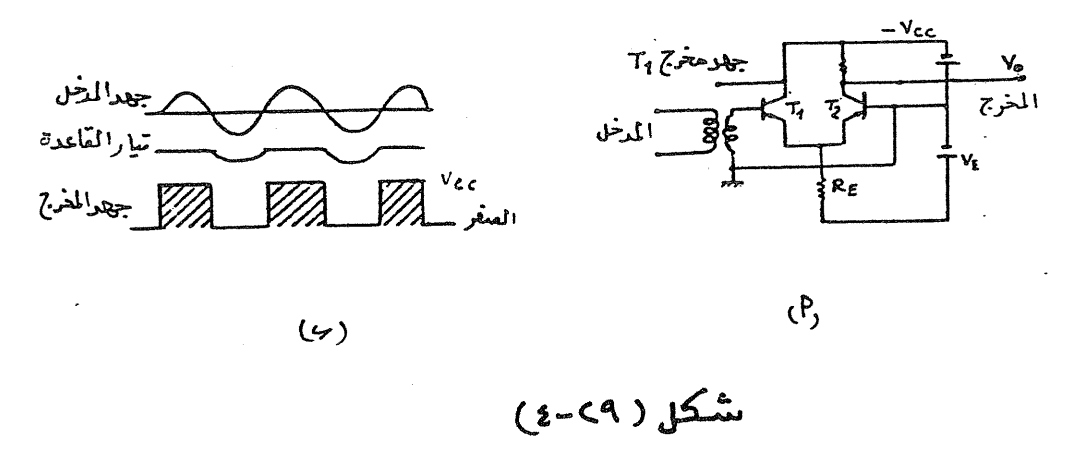
شكل (٤-٢٧)



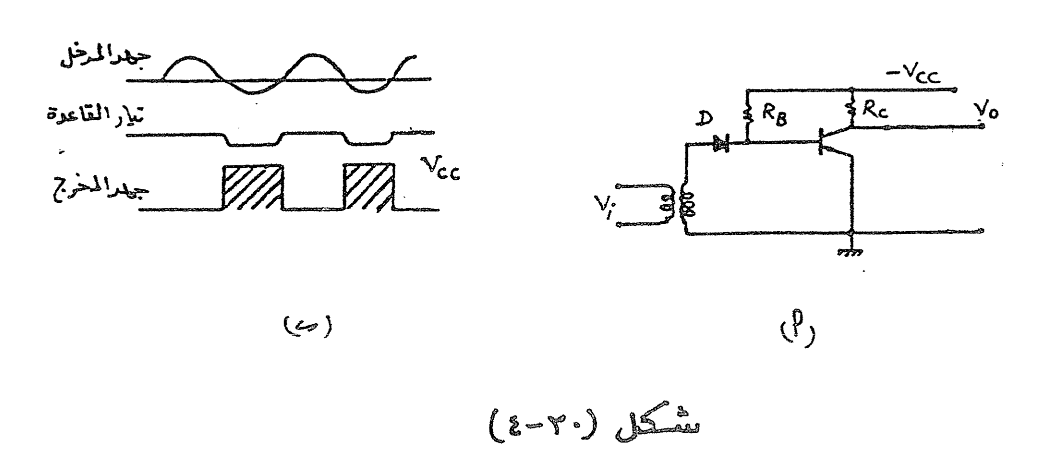


(أ) (ب)

شكل (٤-٢٨)



شكل (٢٩-٤)



شكل (٣٠-٤)

في الدوائر السابقة تم اضافة مكثف ومقاومة في دائرة المخرج كما في الاشكال (٣١-٤)ب ، جـ ، د وجميعها تعطى موجة مخرج كما في شكل (٣١-٤)أ ، ويلاحظ ان موجة المخرج تحتوي علي نبضة موجبة عند ارتفاع الموجة المربعة ، بينما تكون النبضة سالبة عند انخفاض الموجة المربعة ، ويمكن التخلص من احدي النبضتين ، اذا كانت غير مرغوبة ، باستخدام دائرة المقصقص *(The Clipper Circuit)* .

يوضح شكل (٣٢-٤) نوع آخر من الدوائر للحصول علي نبضات حادة سالبة فقط عن طريق تسليط موجة مربعة علي المدخل ، تتكون الدائرة من ترانزستور ومحول ربط وقنطرة توحيد . وعندما يكون جهد باعث الترانزستور موجباً ، فان الترانزستور يصبح في حالة توصيل ، تمر الموجة خلال محول الربط والديود ، عندئذ يدفع جهد المرجع V_{cc} التيار خلال المقاومة R مسبباً نبضة مخرج حادة سالبة .

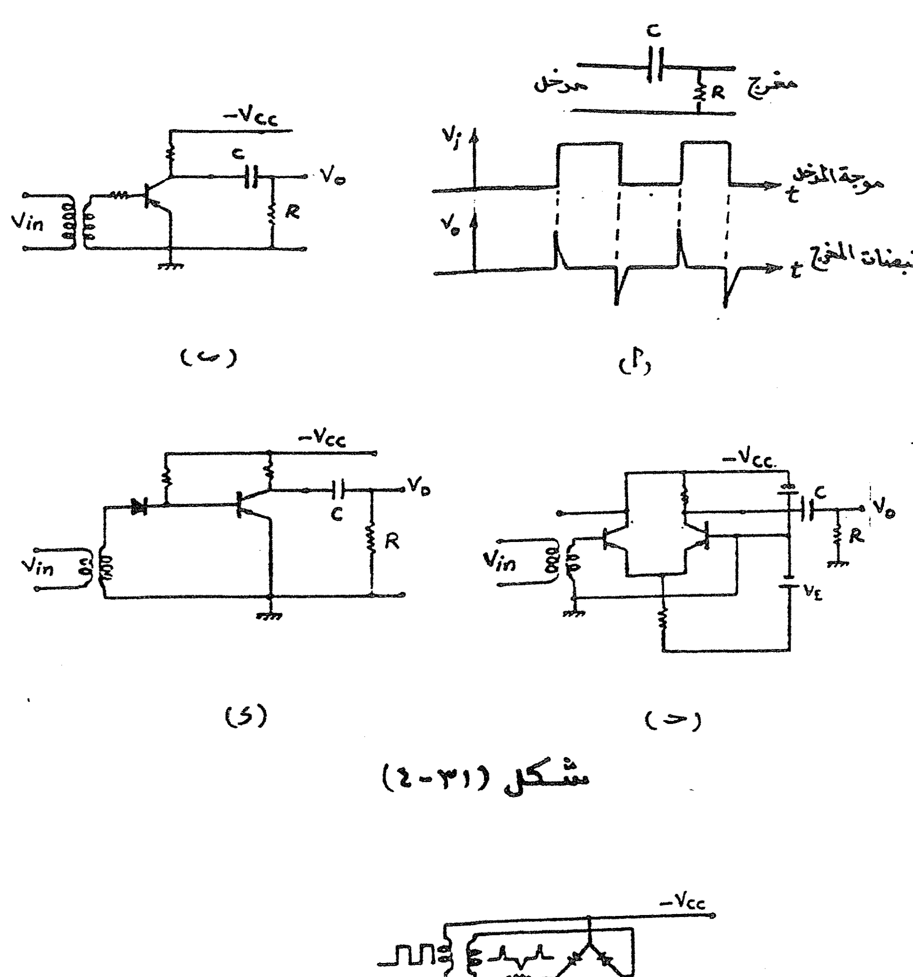
١٢ - دائرة أحادي الاستقرار باستخدام ديود قناة

Monostable Multivibrator Circuit Using Tunnel Diode

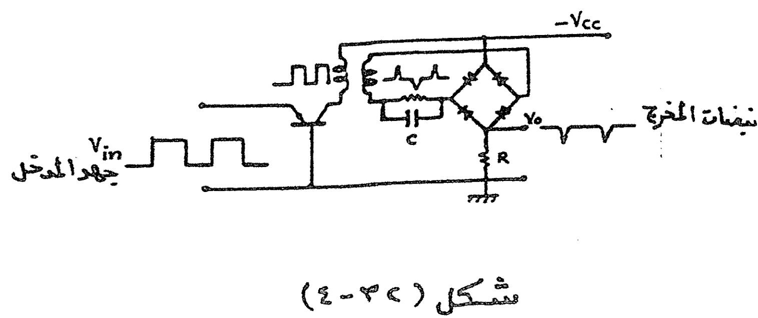
كما ذكرنا سابقاً أن العلاقة بين الجهد والتيار لديود قناة ، عبارة عن منحني يرتفع ثم ينخفض ثم يرتفع مرة أخري ، ويلاحظ أن الجزء الذي ينحدر فيه المنحني الي اسفل تكون مقاومة الديود سالبة وتمثل بدائرة قصر ، ومعناها حدوث حياز عكسي لقيمة صغيرة للجهد في الاتجاه الامامي ، وهذا واضح في شكل (٣٣-٤)أ .

ويوضح شكل (٣٣-٤)ب الدائرة المكافئة لدائرة أحادي الاستقرار باستخدام ديود قناة ، حث تسلط نبضة اطلاق *(Triggering)* علي مدخل الدائرة .

ويوضح شكل (٣٣-٤)جـ منحني العلاقة بين الجهد والتيار وخط التشغيل ، يبدأ أولا حدوث حياز للدائرة عند النقطة (١) ، والتي تعرف بنقطة الاستقرار ، وعند نبضة اطلاق موجبة فان الدائرة تعمل عند النقطة (٢) ، اذا كانت قيمة جهد الاطلاق كافيه ، فانه يحدث تحول من النقطة (٢) الي النقطة (٣) عند قيمة ثابتة للتيار ، عندئذ تنتهي نبضة اطلاق التيار . ويكون معدل تغيير الجهد بالنسبة للزمن *(dv/dt)* عند النقطة (٣) سالباً .
عند حدوث اي تغيير تتحرك نقطة التشغيل الي النقطة (٤) بينما نجد معدل التغيير مازال سالباً ، وعلي ذلك يحدث تحول من النقطة (٤) الي النقطة (٥) خلال خط تيار ثابت مرة ثانية . وعند النقطة (٥) يصبح معدل التغيير *(dv/dt)* موجباً وتتحرك نقطة التشغيل الي



شكل (٣١-٤)



شكل (٣٢-٤)

النقطة (١) وتظل عندها حتي يتم تسليط نبضة اطلاق ثانية . ويوضح شكل (٣٣-٤)د شكل نبضات المخرج علي الديود .

١٣- دائرة القياس *Measuring Circuit*

تعتبر دائرة القياس من الدوائر الهامة بمتممات الوقاية ، والتي تتكون من جزئين :

- دائرة العيّنة *Sampling Circuit* ، وتستخدم عند الاحتياج الي اشارات ذات إزاحة وجه *(Phase shift)* او اشارات مختلطة *(Mixing)* لكميات المدخل بالمتمم .

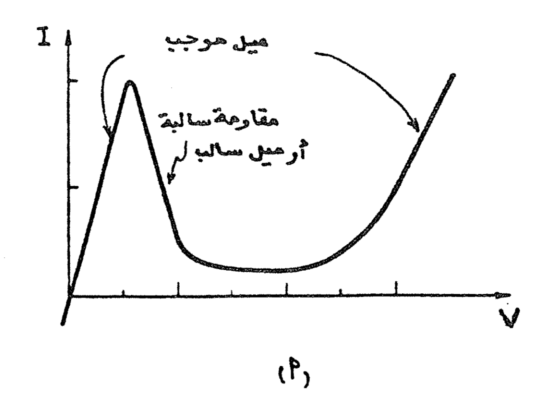
- دائرة محول القيمة ومدي النبضة *(Amplitude Pulse Width Converter)* (والتي تختصر الي "محول *A/W*") .

يوضح شكل (٣٤-٤) مكونات دائرة قياس وتعمل كالآتي :

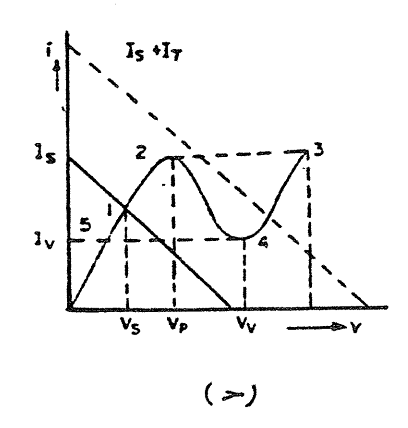
- اذا كانت قيمة التيار i_G مساوية للصفر ، فان قيمة المعاوقة بين المدخل V_s وبين دائرة محول *A/W* تصبح كبيرة جدا . ويجب ان تكون قيمة اقصي جهد V_s اقل من جهد انهيار الزنير ديود ، بمعني آخر يحدث اتصال عن طريق الزنير ديود ومعاوقة المصدر V_G .

- اذا كانت قيمة التيار i_G لا تساوي الصفر ، خلال دورة عيّنة زمنها ٥٠ ميكروثانية وتكون i_s اقل من i_G ، وتصبح مقاومة القنطرة بين المصدر V_s وبين دائرة محول *A/W* صغيرة جداً . ينتج التيار i_G من تسليط موجة مربعة V_G كل ٥٠ ميكروثانية ، وتكون قيمتها كافية لحدوث انهيار خلال الزنير ديود . هذا يؤدي الي ان المكثفات الشاردة *(Stray Capacitances)* لديودات القنطرة ولزنير ديود تسمح بمرور سريع للحافة الموجبة لنبضات المخرج ، حتي اذا كانت قيمة i_G تساوي صفراً . وتساعد قيمة ثابت الزمن R_1C_1 علي ان يظل الترانزستور في حالة فصل *(OFF)* إلا عند الزيادة السريعة للقيمة V_s .

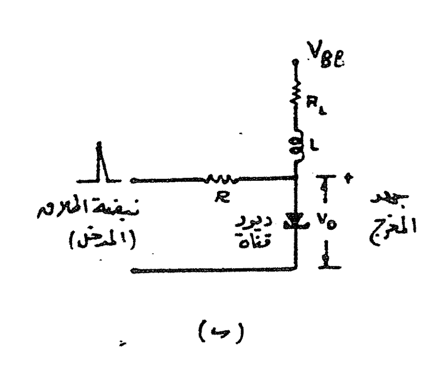
هذه الدائرة لا تحذف النتوءات *(Spike)* الموجودة في موجة المدخل V_s ولكن عندما يتحول الترانزستور T_1 الي حالة التوصيل *(ON)* يتخلص من النتوءات الموجودة في التيار خلال معاوقة اشارة المدخل ، وينخفض معدل زيادة الانقطاع *(Rate of rise of discontinuity)* بما يكفي لتجنب مرور النتوءات في القنطرة . خلال فترة العينة (٥٠



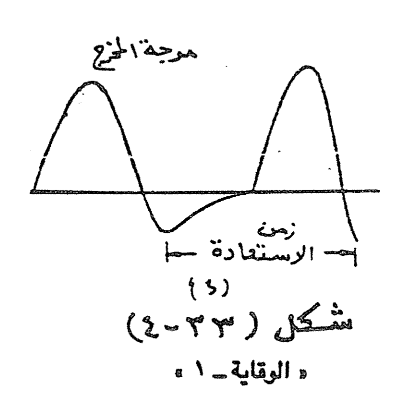
(أ)



(حـ)



(ب)



(د)

شكل (٣٣-٤)

« الوقاية ـ ١ »

ميكروثانية) ، يشحن المكثف ، خلال المقاومة $(r + R_s)$ ، حيث R_s هي مقاومة اشارة المدخل . وتكون R كبيرة جدا بالمقارنة للقيمة $(r + R_s)$ ولذلك تهمل خلال فترة الشحن . وفي نهاية فترة العينة يبدأ تفريغ C في المقاومة R نحو جهدالمدخل(-)وتصبح الان مقاومة القنطرة كبيرة جدا بالمقارنة للمقاومة R ولذلك تهمل خلال فترة التفريغ . ويكون الوضع العادي للترانزستور T_2 في حالة توصيل ويتحول الي حالة الفصل في بداية فترة العينة عندما يصبح الجهد خلال المكثف C موجباً . ثم يتحول الي حالة التوصيل مرة ثانية عندما يصل الجهد علي المكثف C الي الصفر تقريباً .

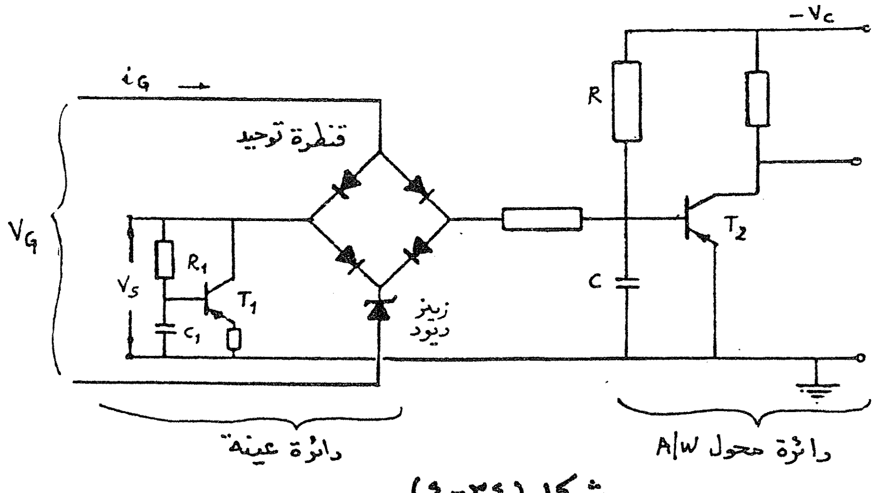
نحصل علي المخرج من مجمع الترانزستور T_2 ويكون عبارة عن نبضات لها فترة زمنية T تتناسب مع جهد المدخل V_s عند لحظة العينة التي تحقق T' اقل كثيرا من CR .

١٤- العناصر الاتجاهية الاستاتيكية Static Directional Units

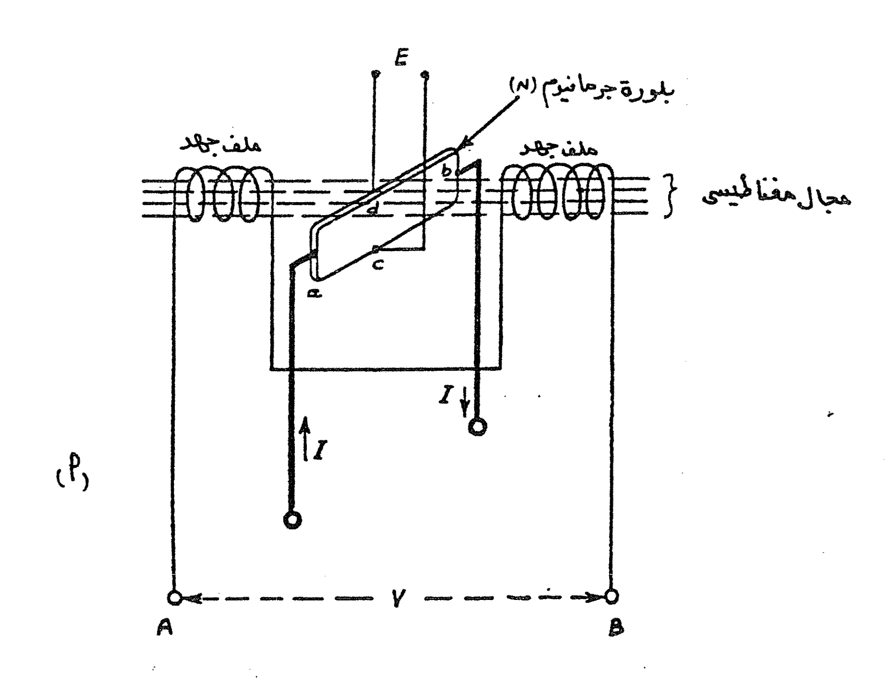
يكون الغرض من العناصر الاتجاهية هو قياس الزاوية بين كميتين كهربائيتين ، مثلا بين التيار والجهد ، ومن العناصر شائعة الاستخدام في متممات الوقاية الاستاتيكية مولد "هول" ولكن حديثاً جداً تم استخدام ما يعرف بمقاومات المغنيط ، فيما يلي تعريف لكل منهما :

مولد "هول" Hall Generator

يتكون المولد من بلورات مسطحة من مواد شبه موصلة (Semiconductor Flat Crystals) وعادة تصنع من الجرمانيوم (النوع N) ، وتوضع بين ملفي جهد (Voltage Coils) كما في شكل (٣٥-٤) ، عند تسليط جهد V بين الطرفين A,B ينتج مجال مغناطيسي علي البلورات ، يؤدي الي مرور تيار بين حافتي البللورة a,b ، الذي بدوره يحدث قوة دافعة مغناطيسية E (جهد تيار مستمر $d.c$) يظهر علي الحافتين الاخرين للبللورة وهما c,d . وتعتمد قيمة E علي الزاوية بين الفيض الناتج عن الجهد V وبين التيار I ، ويستفاد بهذه الخاصية لقياس الزاوية بين V,I في متممات الوقاية الاتجاهية (Directional Relays) ، ويتم تكبير اشارة المخرج E خلال مكبر وهي بدورها تعمل علي تشغيل دائرة فصل قاطع التيار ، كما في شكل (٣٥-٤)ب .



شكل (٣٤-٤)



(ب)

إلى:
فصل تام

شكل (٣٥-٤)

« الوقاية - ١ »

مقاومات المغنيط *Magneto - Resistors*

تعتمد قيمة المقاومة علي المجال المغناطيسي المحيط . عن الخصائص الهامة التي تفيد في استخدامها لوحدات اتجاهية :

- معدل التكرار مرتفع *(High Repetition Rate)* ، نتيجة الاستجابة العالية لاشتغال هذه العناصر .

- لا تتأثر بالاهتزازات والصدمات .

- لا تحتاج الي صيانة أو ضبط .

- تستخدم في اي أجواء محيطة حتي الاجواء التي تحتوي علي اتربة ـ رطوبة ـ أو تكون عرضة للصدأ .

- تحذف بالكامل حالات الاشتغال السريع الناتج من عدم التزامن في تشغيل نقط التلامس المختلفة للاجهزة ، سواء في حالات الفتح أو الفصل أو العكس .

- يمكن تنظيم دوائر تحكم بالتتابع *(Sequentional Control Circuit)* والتي تستخدم كذاكرة للمعلومات ، حتي في حالة قطع مصدر التغذية للدائرة .

٢-٤ الدوائر المتكاملة *Integrated Circuits*

حدثت ثورة كبيرة منذ عام ١٩٧٢م واستمرت حتي الآن في صناعة وتطوير الدوائر الالكترونية . حيث استخدمت لوحات معزولة *(Insulating Boards)* لتجميع الدوائر الالكترونية عليها ، وهي عبارة عن ترانزستورات وديودات ومقاومات ومكثفات .... وتسمي الدائرة بعد ذلك بالدائرة المتكاملة ويرمز لها *ICs* .

وتمتاز الدوائر المتكاملة بأنها تشغل حيزاً صغيراً حيث ان جمع التوصيلات اللازمة بين العناصر وبعضها تكون مضغوطة جداً ، وقد أمكن عن طريق الدوائر المتكاملة تصميم وتنفيذ اي دوائر الكترونية مهما كانت درجة صعوبتها او تعقيدها وفي الوقت نفسه تكاليفها منخفضة وفي مجالنا هذا لا يهمنا كيف تصمم الدوائر المتكاملة أو مما تتكون بالتفصيل ولكننا نهتم في هذا الجزء بفهم عمل الدوائر المتكاملة المستخدمة في متممات الوقاية وما هي أطرافها الخارجية والتطبيقات المستخدمة . وسوف نتعرض أولا لنبذة موجزة عن تركيبها وشكلها قبل التعرض للتطبيقات :

ولتوضيح فكرة تركيب وشكل الدوائر المتكاملة ، سنستعرض المثال في شكلي (٢٦-٤)أ ، ب وهو عبارة عن دائرة مكبر تفاضلي يتكون من ترانزستورين T_1 ، T_2 والمقاومات R_1 ، R_2 ، R_3 بينما يوضح شكل (٢٧-٤) الخطوات التنفيذية {للوصول للشكل(٣٦-٤)ب}كالآتي:

- يتم ترسيب المنطقة P واعتبارها طبقة أولية *(Substrate)* وتحتوي علي تجويفات تمثل المنطقة N كما في شكل (٣٧-٤)أ .

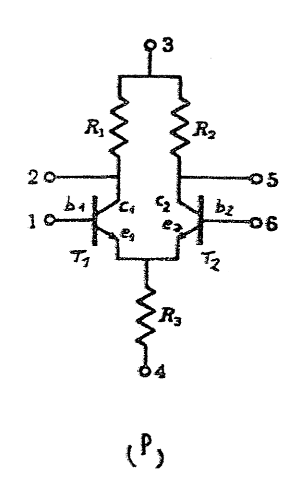
- يتم عمل قناع بمادة ثاني أكسيد السيليكون $Si\,O_2$ يتبعها تجويفات تمثل المنطقة P كما في شكل (٣٧-٤)ب .

- يتم عمل قناع بمادة ثاني أكسيد السيليكون $Si\,O_2$ يتبعها تجويفات تمثل المنطقة N كما في شكل (٣٧-٤)جـ وعلي ذلك يستكمل التكوين للحصول علي الشكل (٣٦-٤)ب .

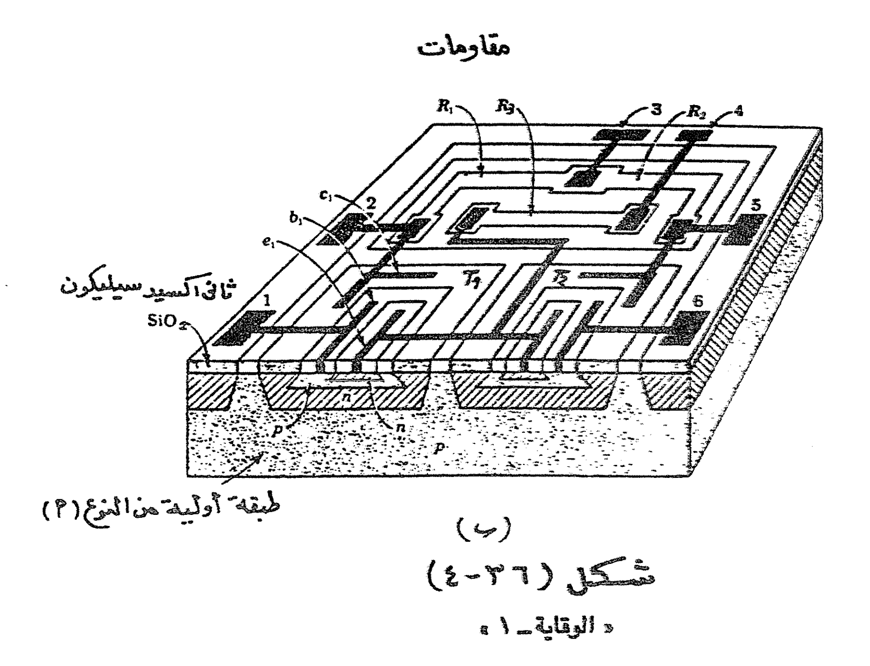
بمعني آخر تستخدم شريحة من سيليكون بللوري أحادي *(Single Crystal Silicon)* من النوع P واعتبارها طبقة أولية *(Substrate)* . ثم تصهر مادة من النوع N مثلا فتصبح كما لو كانت وصلة $P\,N$ ، وهكذا تضاف مواد شبه موصلة علي شكل طبقات رقيقة جداً ، حسب المطلوب هل هو ترانزستور أم ديود أم ..... ، ......

مع ملاحظة ان حجم الدوائر المتكاملة ليست بالحجم الموضح في الاشكال السابقة ، ولكن الرسم للتوضيح فقط ، حيث ان احجامها تتراوح بين ٢٥ × ٢٥ مل دائري لأبسط دائرة متكاملة و١٠٠ × ١٠٠ مل دائري بالدوائر المعقدة ، (يلاحظ أن تعريف الوحدة مل دائري هو مساحة دائرة قطرها ٠,٠٠١ بوصة أو واحد مل دائري يساوي ٢,٥ ميكرومتر . *(1 mils = 2.5 m.m)*

يوضح شكل (٣٨-٤)أ مكونات مقاومة من مواد شبه موصلة ، ومصنعة بطريقة الدوائر المتكاملة ، حيث تكون الطبقة الأولية من النوع P ثم منطقة من النوع N تحتوي علي منطقة من النوع p ، بالاضافة الي طرفين معدنيين *(Metal Lead)* للتوصيلات الخارجية . توصل الطبقة الاولية ، بجهد سالب بالنسبة للمنطقة من النوع N وبذلك تعتبر الوصلة PN كحياز خلفي *(Back Biased)* ، بينما تعزل المنطقة N عن باقي المناطق من نفس النوع عن طريق تصنيعها كما في التجويف في الطبقة الأولية من النوع p . ويمكن تحديد قيمة المقاومة بمعرفة : الحجم ـ والشكل ـ والموصلية *(Conductivity)* للمواد



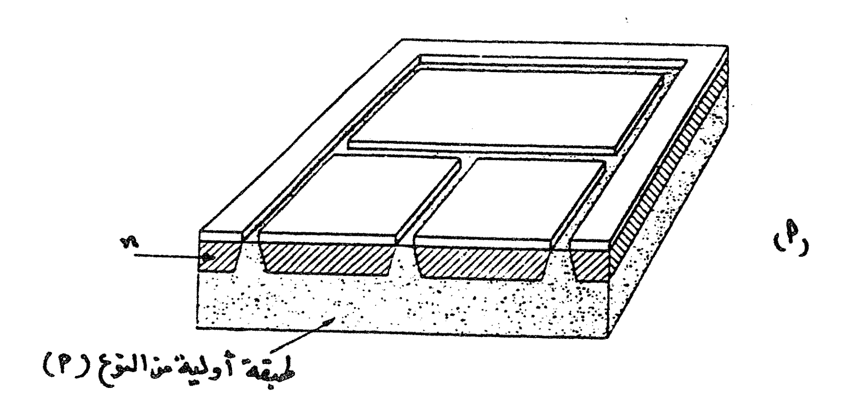
(أ)

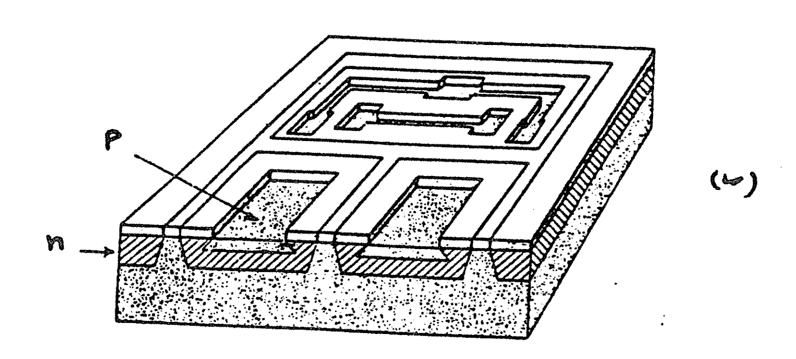


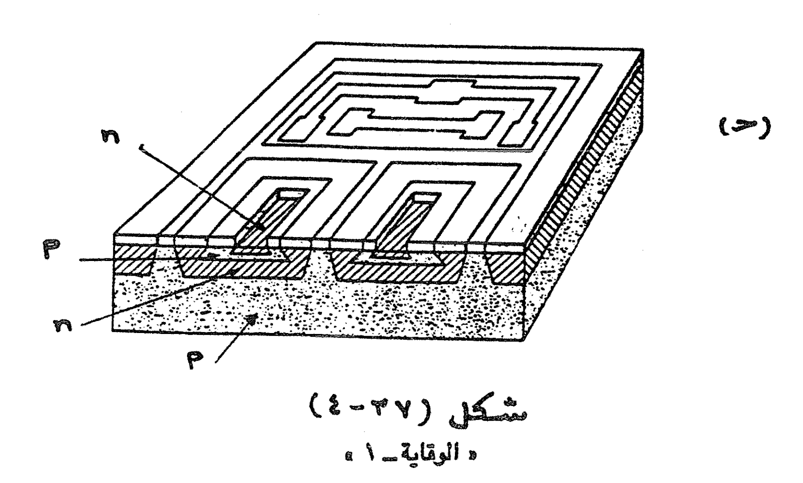
(ب)

شكل (٤-٣٦)

« الوقاية - ١ »







شكل (٣٧-٤)

« الوقاية ـ ١ »

شبه الموصل الموجودة بين طرفي المقاومة . أما الاطراف الخارجية فهي عبارة عن رقائق معدنية *(Metal Films)* تعزل عن الطبقة الاولية والمكونات الاخرى بواسطة مادة عازلة على شكل طبقات رقيقة جداً .

يوضح شكل (٣٨-٤) ب مقاومة تستخدم فى الدوائر المتكاملة ويمكن ايجاد قيمة مقاومتها من المعادلة

$$R = \rho \frac{L}{W}$$

حيث W,L الطول والعرض

ρ هى المقاومية *(Resistivity)*

ويلاحظ كيف استخدم هذا النوع فى الدائرة بشكل (٣٦-٤) .

يوضح شكل (٣٩-٤) ترانزستور من النوع NPN مصنوع بطريقة الدوائر المتكاملة حيث تم إضافة منطقة من النوع N للشكل (٣٨-٤) أ للحصول على ترانزستور ، كما يلاحظ إحتواء الدائرة على ثلاثة أطراف خارجية .

كما يوضح شكل (٤٠-٤) مكثف مصنوع بطريقة الدوائر المتكاملة ويتكون من طبقة من النوع N ومنطقة اكسيد عازلة *(Insulating Oxide)* وهى تعتبر المادة العازلة بين اللوحين . كذلك يمكن تصنيع الديودات المتكاملة ، مع ملاحظة أنه لايمكن عمل ملفات حثية متكاملة *(Inductors)* وبالتالى لاتحتوى أى دوائر متكاملة على ملفات .

فى الدوائر المتكاملة ، تكون مساحة شريحة السليكون اللازمة لمكثف سعته ١٠ -١١ فاراد اكبر من المساحة اللازمة لترانزستور، بينما تكون المساحة اللازمة لمقاومة واحد كيلو اوم ضعف المساحة اللازمة لترانزستور،وهذا يوضح ان تكلفة الدائرة المتكاملة المحتوية على مكثف اغلى من مثيلتها بدون مكثف ولذلك فأن أغلب الدوائر المتكاملة تربط الترانزستورات مباشرة *(d.c Coupled)* ، اى بدون استخدام مكثف . يوضح شكل (٤١-٤) ربط بين T_1 ,T_2 بواسطة حياز قاعدة الترانزستور T_2 عن طريق T_1 .

يوضح شكل (٤٢-٤) أ مثالاً لدائرة مكبر تابع باعث *Emitter Follower Amplifier* والدائرة المتكاملة المكافئة له موضحة فى شكل (٤٢-٤) ب ونلاحظ ان التوصيل بين المكثف C والمقاومة R_2 يتم فى منطقة الاكسيد العازل *(Oxide Layer)* وتوصل قاعدة

الدائرة بجهد سالب V_{cc}- وعلى ذلك تكون جميع التجويفات المحتوية على النوع N معزولة عن الانواع الاخرى بواسطة الحياز العكسى للوصلة الممثلة فى PN ويعرف هذا النوع من الدوائر بالدوائر المتكاملة احادية الطبقة *Monolithic ICs* وباختصار فان الدائرة المتكاملة *ICs*. عبارة عن دائرة كاملة موضوعة داخل شريحة سيليكون *(Silicon Chip)* وتحقق الخصائص المصنوعة من أجلها ويمكن ان تكون هذه الخصائص عكس القطبية ، عمليات حسابية ، مفاتيح تشغيل ، كاشف مستوى ...

ويكون الشكل النهائى للدائرة المتكاملة اما مربع او مستطيل او دائرة ويحتوى على عدد من الارجل *(Pins)* ٨ او ١٤ او ١٦ وهذه الارجل تمثل اطراف الدائرة المتكاملة

(مثلاً V_o , V_i , V_{cc} ± .....) والتى عن طريقها يتم الاتصال بالدوائر الاخرى ...

بالاضافة الى توصيل جهد حياز التغذية ($\pm V_{cc}$) ....

ويوضح الشكل (٤٣-٤) أ الشكل الهيكلى لدائرة متكاملة تحتوى على عدد ١٤ رجل ، بينما يوضح الشكل (٤٣-٤) ب تمثيل للدائرة المكافئة وواضح به ارقام الارجل وبجوارها المعنى ، فمثلاً رقم ١٠ يمثل طرف المخرج بالدائرة .

١ - الدوائر المتكاملة الخطية *Linear ICs*

المكبرات التشغيلية *Operational Amplifiers*

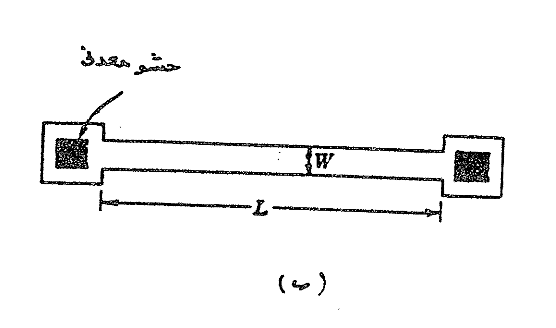
المكبرات التشغيلية هى الاسم التجارى الشائع للدوائر المتكاملة الخطية ، وجاءت هذه التسمية نتيجة استخدامه بكثرة فى الحاسبات التمثيلية *(Analogue Computers)* وتكون العلاقة بين مدخل ومخرج المكبر علاقة خطية .

ويتكون المكبر التشغيلى من مكبر تيار مستمر او اكثر *(d.c amplifier)* وله كسب عالى ويحتوى على تغذية خلفية من المخرج الى المدخل وهذا المكبر عبارة عن ترانزستورات-ومقاومات - ومكثفات يتم توصيلها بشكل مناسب وتحقق الشروط التالية :

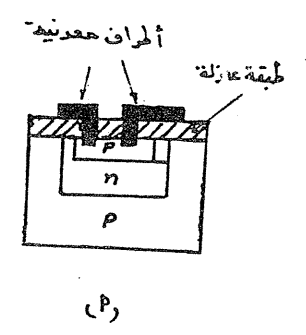
١ - قيمة الكسب كبيرة جداً (عملياً تكون 10^{6}) ، وعادة يقل هذا الكسب نتيجة عمل تغذية خلفية سالبة لزيادة استقرار المكبر .

٢ - قيمتا مقاومة ومعاوقة المدخل كبيرة جداً .

٣ - قيمتا مقاومة ومعاوقة المخرج صغيرة جداً .

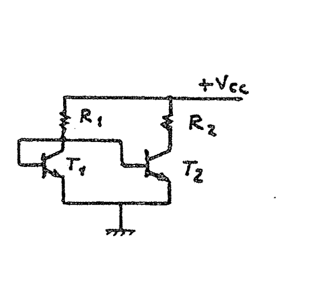


(ب)

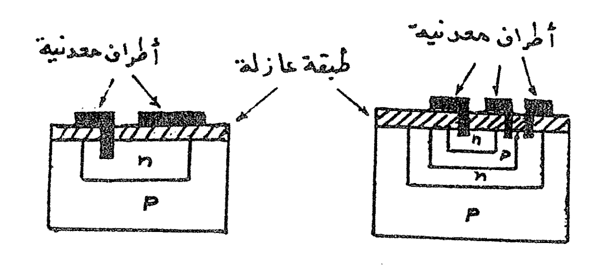


(أ)

شكل (٤-٣٨)

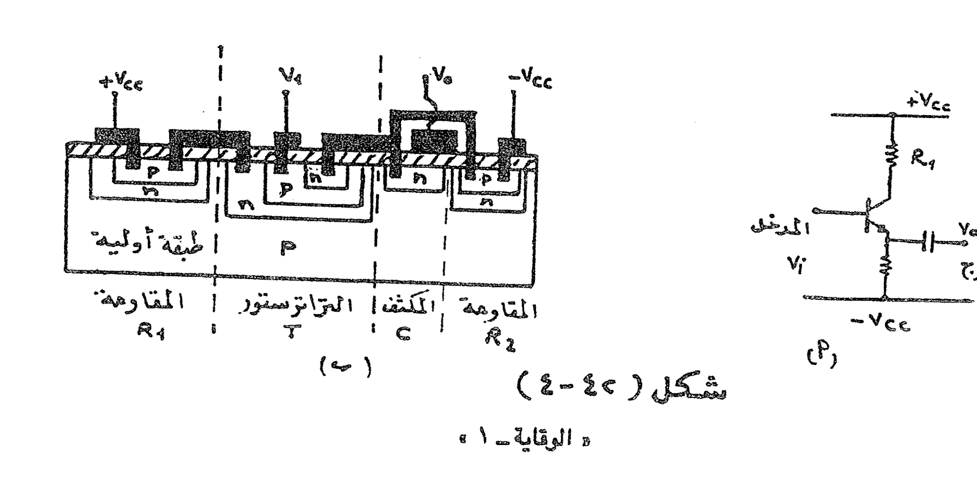


شكل (٤-٤١)



شكل (٤-٤٠)

شكل (٤-٣٩)



شكل (٤-٤٢)

٤ - قيمة عرض النطاق الترددى (*Band width*) مالانهاية .

٥ - تخضع لخاصية خطية (*Linear*)

وتستخدم المكبرات التشغيلية بتوسع فى الدوائر التمثيلية (*Analogue Circuit*) لعمل قياسات او التحكم فى الكميات بمتممات الوقاية .

تستخدم المكبرات التشغيلية ذات التغذية الخلفية السالبة (*Negative Feedback*) فى العمليات الحسابية مثل : الجمع ـ الطرح ـ الضرب ـ التفاضل ـ التكامل ـ عكس القطبية ... (ويمكن اجراء اكثر من عملية حسابية) .

وتستخدم المكبرات التشغيلية ذات التغذية الخلفية الموجبة (*Positive Feedback*) والتى تساعد المكبر على الوصول بسرعة لحالة التشبع ، فى دوائر كاشف مستوى (*Level Detector*) ، ودوائر المتذبذبات متعددة التوافقيات (*Multivibrators*) .

يمثل المكبر التشغيلى بمثلث ، كما فى شكل (٤٤-٤) ويحتوى على ثلاثة اطراف هى :

- الطرف السالب (-) ويسمى المدخل المقلوب (*Inverting Input*) ، وله زاوية إزاحة تساوى ١٨٠° ، او قطبية معكوسة بالنسبة لموجة المدخل .

- الطـرف الموجب (+) ويسمى المدخل غير المقلوب (*Non-Inverting Input*) .

- طرف مخرج (*Output*) واحد فقط والآخر لايشار له حيث يكون مؤرضاً .

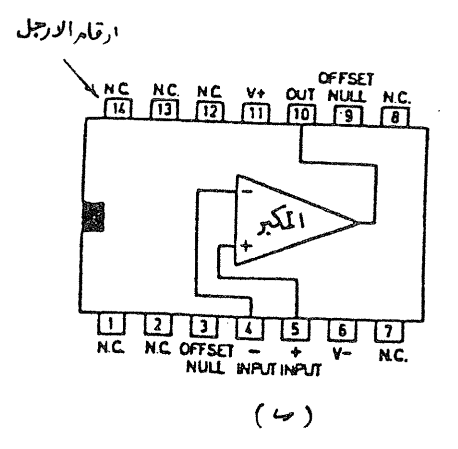
وقد يحتوى المكبر على اطراف غير هذه الاطراف الثلاثة ، فمثلاً اطراف مصدر جهد الحياز (*d.c*) لاتوضع فى الدائرة عادة ، احياناً يشار الى طرف واحد لجهد الحياز .

خاصية المكبر التشغيلى النموذجى:

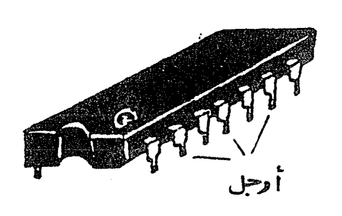
يمتاز المكبر التشغيلى النموذجى بان مقاومة المدخل مالانهاية ، ومقاومة المخرج تساوى صفر ، بينما نجد أن العلاقة بين جهد المدخل والمخرج كما هو موضحاً فى الشكل (٤٤-٤) جـ علاقة خطية . ونتيجة ان مقاومة المدخل تساوى مالانهاية فان تيار المدخل يكون مساوياً للصفر ، اما بالنسبة للمخرج فينتج عن مساواة مقاومته للصفر ، هبوط الجهد (*Voltage Drop*) ، فى مرحلة المخرج ، ان يكون مساوياً للصفر .

وتكون العلاقة بين جهد المدخل ($V_+ - V_-$) وجهد المخرج هى

$$V_o = A\,(V_+ - V_-)$$

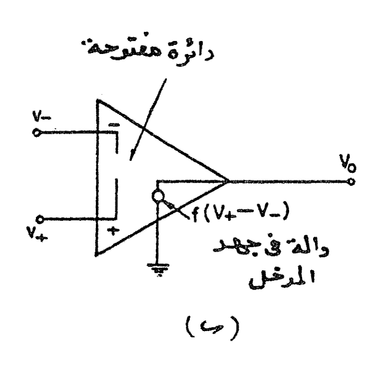


(ب)

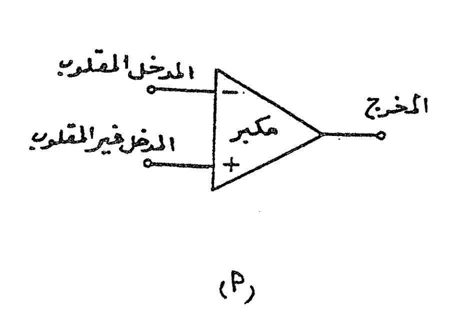


(أ)

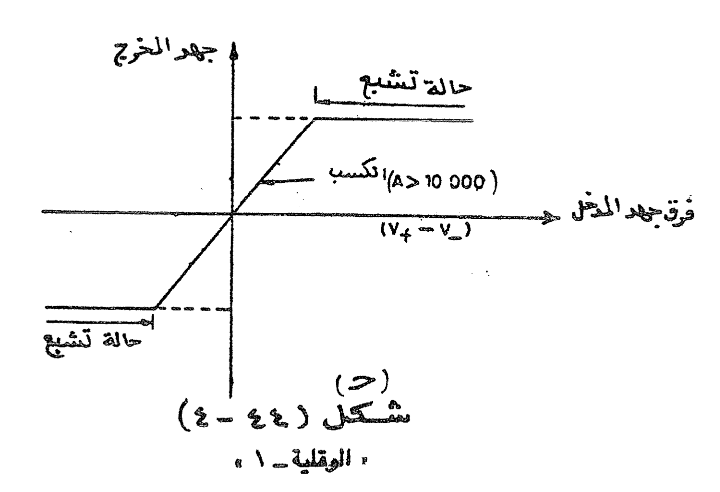
شكل (٤٣ - ٤)



(ب)



(أ)



(ح)

شكل (٤٤ - ٤)

حيث :

A = كسب جهد الدائرة المفتوحة *(Open Circuit gain)* ، وعادة تساوى ١٠٠٠٠

V_+ = جهد المدخل غير المقلوب

V_- = جهد المدخل المقلوب

تتحقق هذه العلاقة الخطية بين جهد المدخل وجهد المخرج عند قيمة صغيرة جداً لجهد المدخل ، لاحظ شكل (٤٤-٤)جـ ، ثم يحدث تشبع للمكبر ، والتغلب على هذا العائق يقوم بعمل تغذية خلفية سالبة .

ومن أكثر المكبرات التشغيلية شيوعاً المكبرات التى يرمز لها بالارقام 709 , 741 ويفضل الاخير حيث أنه النوع المتطور والذى تم التغلب فيه على بعض المشاكل التى توجد فى النوع 709 ويجدر بالذكر أن النوع 709 مازال يستخدم حتى الآن . وكل منهما يحتوى على عدد ٨ أطراف أو أرجل *(Pin)* كما فى شكل (٤٥-٤) .

الجدول (١-٤) يوضح مقارنة بين خصائص كل منهما .

جدول(١-٤)

الخاصية		مكبر من النوع 709	مكبر من النوع 741
كسب جهد الدائرة المفتوحة	A	93 db	100 db
معاوقة المدخل	Z_{in}	250 Kohm	1 Mohm
معاوقة المخرج	Z_o	150 ohm	150 ohm
تيار حياز المدخل	I_b	300 nA	200 nA
أقصي مصدر جهد تشغيل	V_s	± 18 V	± 18 V
أقصي جهد المدخل	V_i	± 10 V	± 13 V
أقصي جهد المخرج	V_o	± 14 V	± 14 V
توازن إختلاف جهد المدخل	V_{io}	2 mV	2 mV
التردد الانتقالي	F_T	5 M HZ	1 MHZ

ويوضح الشكلان (٤٦-٤) ، (٤٧-٤) الهيئة التى يكون عليها المكبران *709* , *741* ولكن للتبسيط يمكن تمثيل هيئة اى منهما كما فى شكلى (٤٨-٤)أ ، ب .

ولكن يوضح شكل (٤٩-٤) التمثيل المستخدم فى رمز الدائرة *(Circuit Symbol)* ، وبمقارنة شكل (٤٩-٤)أ وشكل (٤٩-٤)ب يتضح أن أطراف المدخل هى *3* , *2* وطرف المخرج هو *6* واطراف جهد الحياز هما *7* , *4* .

ويفضل أن يكون اقصى جهد حياز *(d . c)* يساوى ± ١٥ ڤولت بينما المكبر يعمل عند جهد اقل من هذا وهو حوالى ± ٩ ڤولت .

فى الشكل (٤٩-٤)ب نرى مكونات المكبر *741* وهى عبارة عن عدد من الترانزستورات من النوعين *NPN* , *PNP* متصلة داخلياً ، بالاضافة الى عدد من المقاومات .

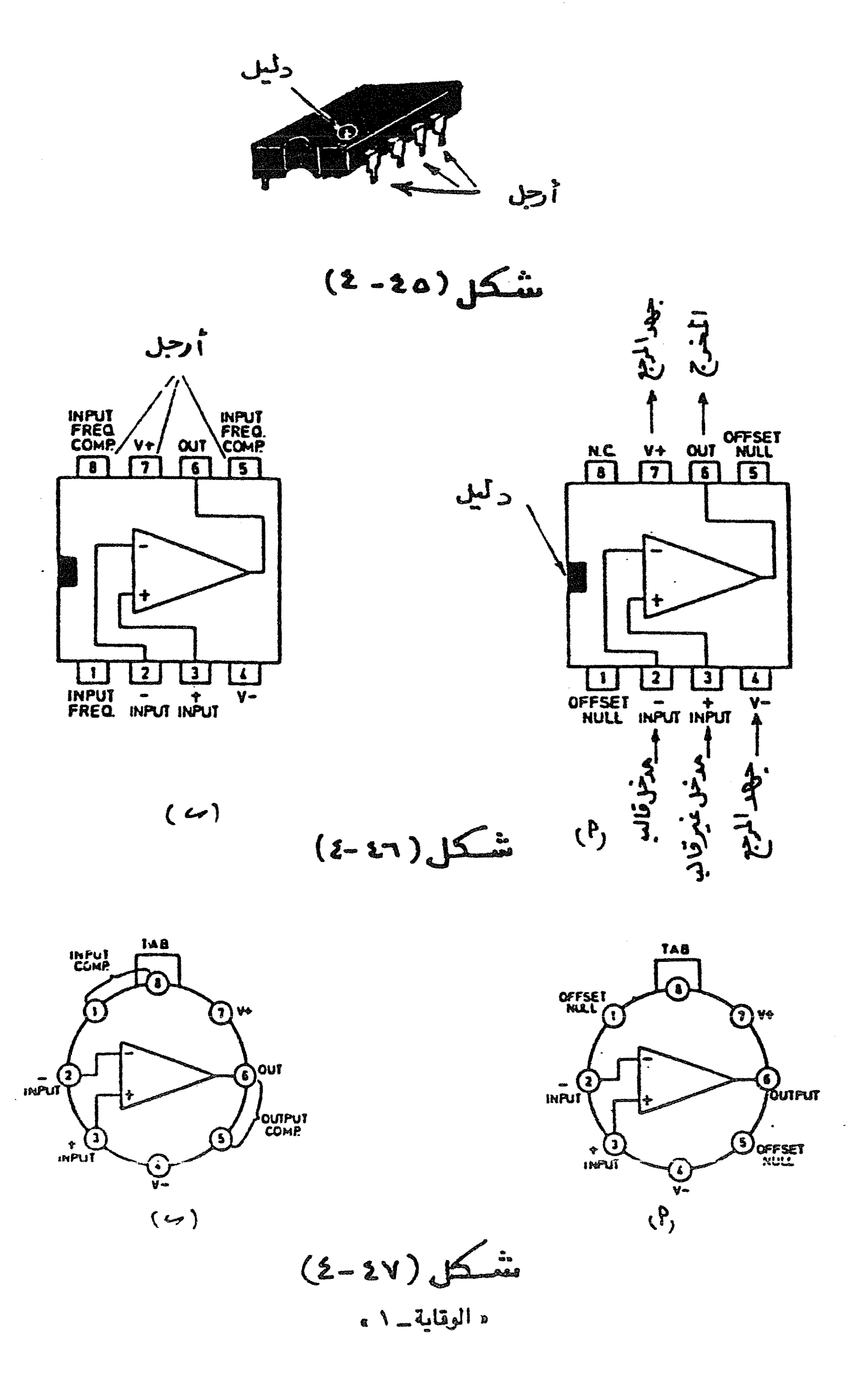
وفى المكبرات التشغيلية فإن الطرفين *1,5* يسميان طرفا موازنة الصفر *(Offset Null)* ويتم عادة توصيل مقاومة بينهما قيمتها ١٠ كيلوأوم ويوصل الطرف المتغير للمقاومة بالطرف السالب لمصدر جهد الحياز ، حيث يكون ضبط الجهد من خلال المقاومة كما فى شكل (٥٠-٤) وهو الامر الذى تتطلبه التطبيقات الخاصة بالترددات العالية والقياسات الدقيقة جداً ، وأحياناً يستخدم مكثف بالاضافة الى المقاومة ويتم ايضاً من خلالهما ضبط صفر الموازنة عندما يكون جهد المدخل مساوياً للصفر .

ويلاحظ أن *ICs* لا يكتب عليه ارقام الاطراف ولكنه يحتوى على دائرة *(Circle)* أو علامة *(Notch)* كدليل لبداية الطرف رقم ١ كما هو واضح بالاشكال (٤٥-٤) ، (٤٨-٤) .

استخدامات المكبرات التشغيلية

أ - التغذية الخلفية السالبة *Negative Feedback*

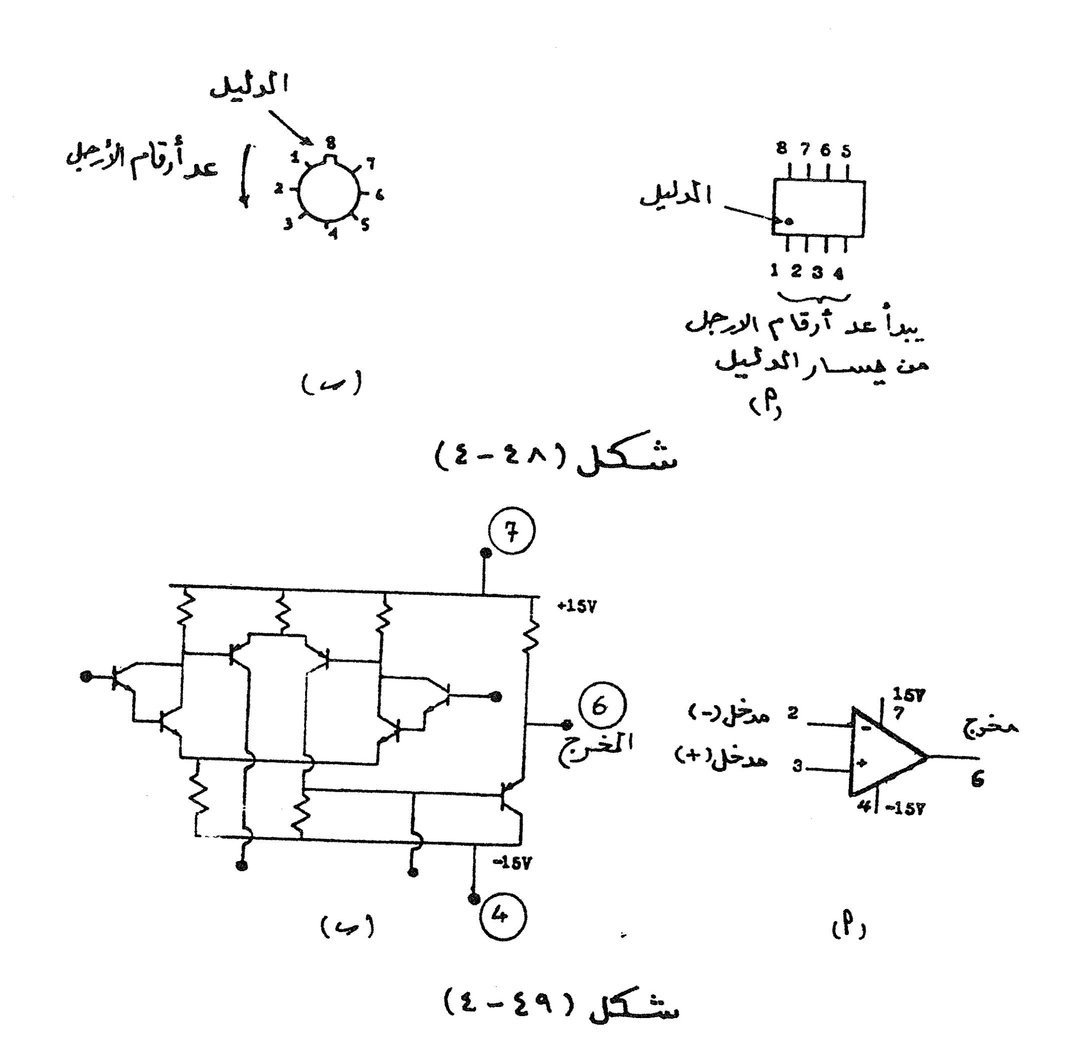
تستخدم التغذية الخلفية السالبة سواء كانت موجة المدخل على الطرف الموجب (+) أو الطرف السالب (-) وذلك للوصول بقيمة خطأ الجهد *(Error voltage)* الى قيمة الصفر . ونتيجة كبر معاوقة المدخل فان تيار المدخل ، تقريباً ، يمر خلال مقاومة التغذية الخلفية R_F ولا يمر اى تيار داخل المكبر . وبأخذ هذين الشرطين فى الاعتبار يمكن حساب الكسب للعروة المغلقة *(Closed Loop Gain)* للدوائر التالية :



شكل (٤٥-٤)

شكل (٤٦-٤)

شكل (٤٧-٤)



شكل (٤٨ - ٤)

شكل (٤٩ - ٤)

741
OP-AMP
5
1
N_1
N_2
10kΩ
مقاومة متغيرة
الى الطرف السالب للمخرج ٧-

شكل (٥٠ - ٤)

١-المكبر المقلوب *Inverting Ampifier*

لو قمنا بعمل تغذية خلفية سالبة خلال المقاومة R_F ، كما فى شكل (٥١-٤) ، تتحقق المعادلات الآتية :

تيار المدخل $I_1 = \frac{V_s}{R_s}$

تيار التغذية الخلفية $I_f = - \frac{V_o}{R_f}$

وبفرض أن $I_F = I_1$ فإن :

كسب العروة المغلقة $A = \frac{V_o}{V_s} = - \frac{R_f}{R_s}$

وعلى ذلك فإن تأثير التغذية الخلفية السالبة يتلخص فى الاتى :

- تقليل الكسب A ، بحيث لا يعتمد على كسب الدائرة المفتوحة .
- يسمح بجهد مدخل V_s كبير بدون الوصول الى حالة التشبع .
- الحصول على كسب العروة المغلقة المعكوس ويساوى R_F/R_s .
- الحصول على جهد مخرج يساوى جهد المدخل ويخالفه فى الاشارة فى حالة $R_F = R_s$.

٢-المكبر غير المقلوب *Non - Inverting Amplifier*

تكون موجة المدخل على الطرف الموجب من خلال المقاومة R_s ، والتغذية الخلفية على الطرف السالب من خلال المقاومة R_1 ، كما فى شكل (٥٢-٤) . ونحصل على جهد التغذية الخلفية من المعادلة الآتية :

$$e_1 = \frac{V_o}{R_1 + R_2} R_2$$

وحيث أن الخطأ يساوى صفر فإن :

جهد المدخل = جهد التغذية الخلفية ، أى أن :

$$e_1 = V_s$$

$$V_s = \frac{V_o}{R_1 + R_2} R_2$$

كسب العروة المغلقة $$A = \frac{V_o}{V_s} = 1 + \frac{R_1}{R_2}$$

٣-المكبر التابع *Follower Amplifier*

إذا كان لدينا مكبر تشغيلى وقمنا بعمل تغذية خلفية سالبة مباشرة ، وذلك عن طريق التوصيل المباشر للمخرج الى الطرف السالب مع توصيل مصدر التغذية V_s الى الطرف الموجب من خلال R_s كما فى شكل (٥٣-٤) . وبذلك يصبح المخرج مساوياً للمدخل اى يتبعه اى ان

$$V_o = V_s$$

ولذلك يطلق على هذا المكبر اسم المكبر التابع والذى له كسب يساوى الوحدة *(Unity Gain Follower)* . ويستخدم هذا النوع بغرض الربط بين معاوقة لها قيمة عالية ومعاوقة ذات قيمة منخفضة .

٤-الجمع التمثيلى *Analogue Addition*

عند تغذية الطرف السالب باكثر من موجة مدخل ، كما فى شكل (٥٤-٤) ، فان موجة المخرج تساوى :

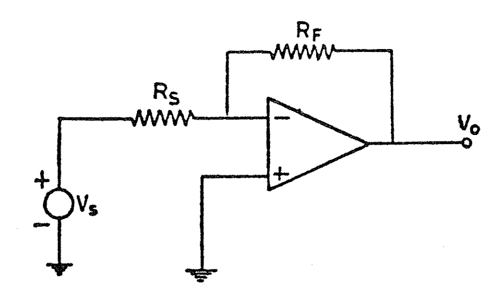
$$V_o = -\left(\frac{R_F}{R_1} V_1 + \frac{R_F}{R_2} V_2 \right)$$

وإذا كانت $R_1 = R_2 = R_F$ فإن :

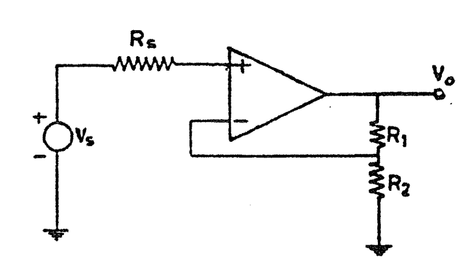
$$V_o = -(V_1 + V_2)$$

(يلاحظ أن V_o لا يمكن ان تتعدى قيمة جهد الحياز $\pm V_{cc}$)

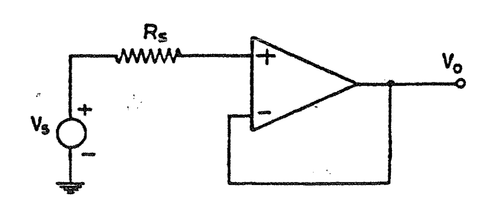
يوضح شكل (٥٥-٤) مثال عددى للحصول على جهد مخرج يساوى : $-(V_1 + V_2 + V_3)$ بينما فى شكل (٥٦-٤) تم اضافة مكبر آخر لعكس هذا المخرج



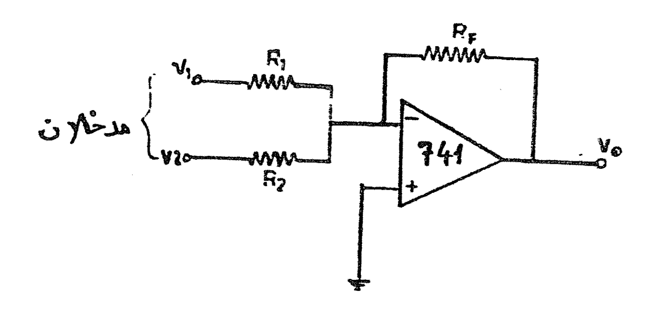
شكل (٥١-٤)



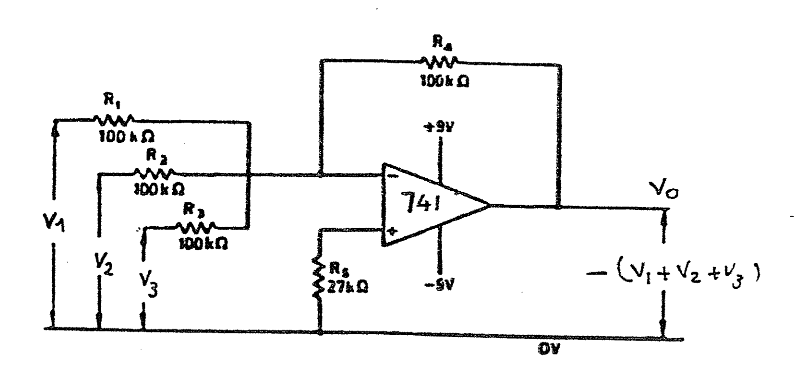
شكل (٥٢-٣)



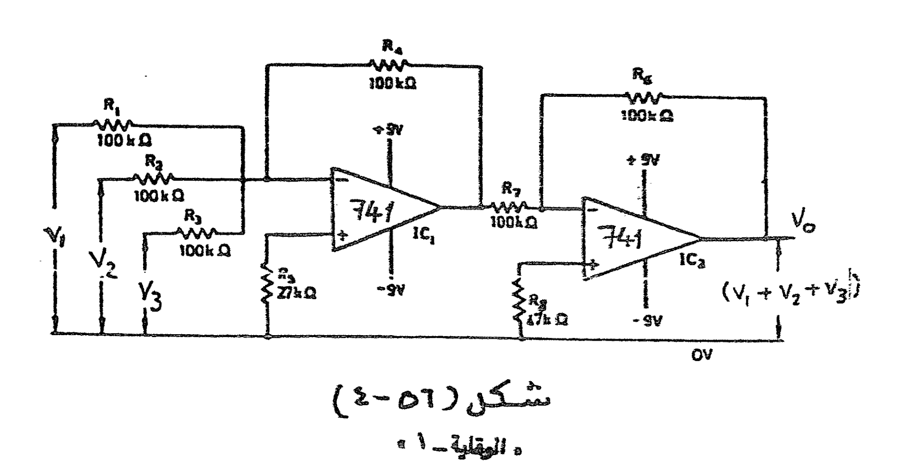
شكل (٥٣-٣)



شكل (٤-٥٤)



شكل (٤-٥٥)



شكل (٤-٥٦)

والحصول على مخرج يساوى $(V_1 + V_2 + V_3)$

٥ - الطرح التمثيلى *Analogue Subtraction*

عند استخدام موجتى مدخل على الطرفين (-) ، (+) وباستخدام الدائرة فى الشكل (٥٧-٤) يمكن طرح الموجتين V_2 ، V_1 بالمعادلة التالية :

$$V_o = \left(\frac{R_1 + R_2}{R_1} \right) \left(\frac{R_4}{R_2 + R_4} \right) V_2 - \left(\frac{R_2}{R_1} \right) V_1$$

وإذا كانت $R_1 = R_2 = R_3 = R_4$ فان :

$$V_o = V_2 - V_1$$

٦ - المكامل التمثيلى *Analogue Integrator*

لو استخدمنا الدائرة بشكل (٥٨-٤) نحصل على مخرج يساوى تكامل جهد المدخل بالنسبة للزمن كالآتى :

قيمة الشحنة Q على المكثف تساوى :

$$Q = CV = {}_{-\infty}\int^{t} i\, dt$$

حيث i التيار المار بالمكثف

$i_s = V_s/R$ = تيار المدخل

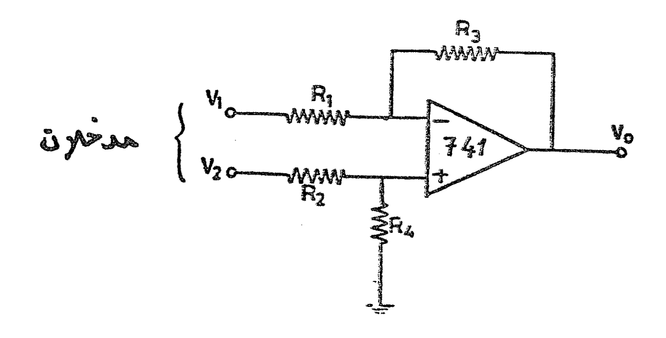
حيث أن مقاومة المدخل كبيرة جدا فان تيار المدخل يمر بالمكثف :

$$Q = \int i_s\, dt = \int \frac{V_s}{R}\, dt$$

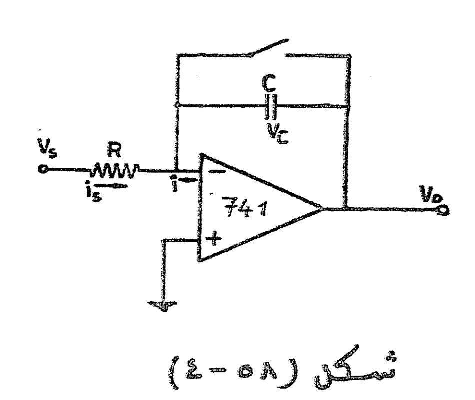
ولكن باعتبار جهد المخرج V_o فان :

$$Q = - CV_o$$

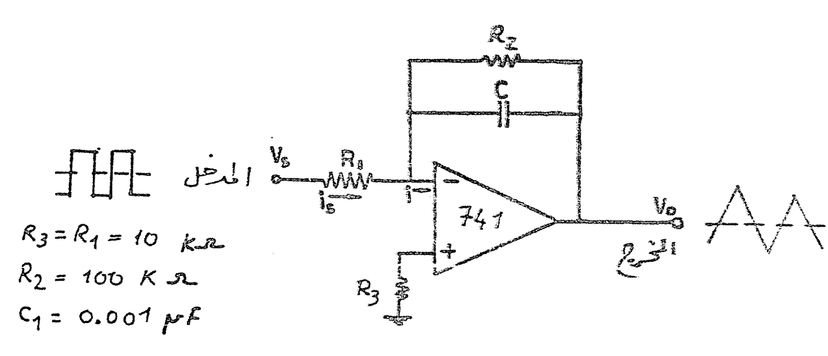
$$CV_o = - \int \frac{V_s}{R}\, dt$$



شكل (٤-٥٧)



شكل (٤-٥٨)



شكل (٤-٥٩)

$$V_o = -\frac{1}{RC}\int_{-\infty}^{t} V_s\, dt$$

وقد أضيف مفتاح على التوازى مع المكثف ليتم تفريغ الشحنة من خلاله والوصول بجهد المخرج الى قيمة الصفر . يبين شكل (٥٩-٤) مثال عددى لمكامل تمثيلى ، جهد المدخل موجة مربعة بقيمة تساوى ± ٠,٢٥ ڤولت . فنحصل على مخرج ، كما فى الشكل ، بقيمة ± ١ ڤولت .

٧ - التفاضل التمثيلى *Analogue Differential*

يوضح شكل(٦٠-٤) دائرة التفاضل التمثيلى ، ونحصل على تيار المدخل من المعادلة الآتية :

$i = C\ (dV_s/dt)$

هذه الدائرة تشبه دائرة مكبر عكسى ولذلك فان جهد المخرج يساوى $V_o = -iR$ حيث أن تيار المدخل يمر كله فى المقاومة R ونتيجة كبر مقاومة المدخل فان :

$V_o = -RC\ (dV_s/dt)$

ويوضح شكل (٦١-٤) مثال عددى للحصول على موجة مربعة قيمتها ± ٠,٢٥ ڤولت ، ناتجة من تفاضل موجة مدخل بقيمة ± ٠,٢٥ ڤولت .

٨ - المرشح الفعال *Active Filter*

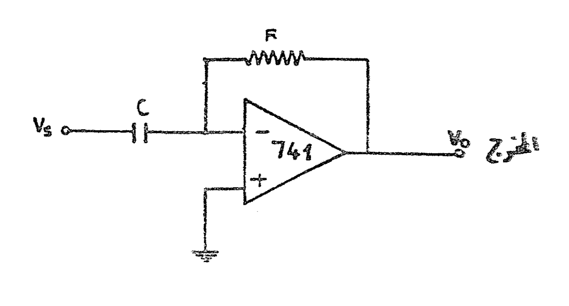
يوضح شكل (٦٢-٤) دائرة المرشح الفعال ، تعمل الدائرة عند حدود تردد بين ω_2 ، ω_1 حيث :

$\omega_1 = C_1 / R_s \quad , \omega_2 = C_2 / R_f$

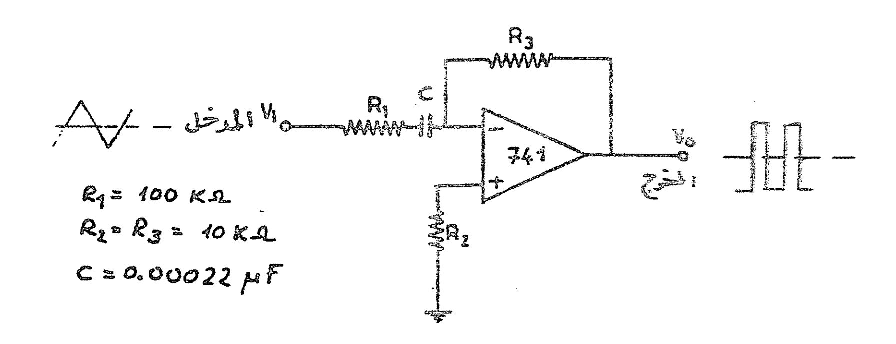
وتصبح الدائرة كمقاومة صغيرة جداً عندما $\omega = \omega_o$ بينما تكون كمقاومة كبيرة جدا عند $\omega \neq \omega_o$ حيث ω_o هى تردد الرنين وتساوى $1/\sqrt{LC}$.

ب - التغذية الخلفية الموجبة *Positive Feedback*

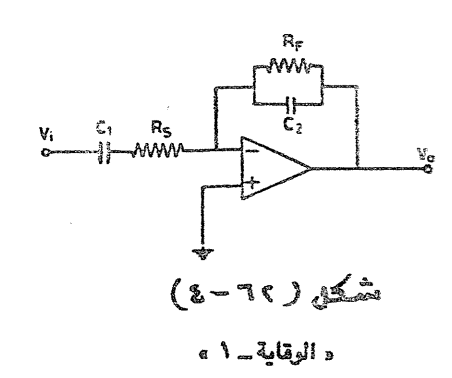
نظراً لخاصية التكبير العالية جداً للمكبر ، فقد أمكن استخدامه كدائرة تشغيل *(Switching)* . حيث يظل مخرج المكبر التشغيلى إما فى مرحلة التشبع الموجب أو السالب معتمداً على قطبية موجة المدخل {الاختلاف بين جهدى الطرفين (-) ، (+)} ، وذلك فى حالتى وجود تغذية خلفية موجبة أو عدم وجودها *(Open Loop)* ، ويفضل



شكل (٦٠ - ٤)



شكل (٦١-٤)



شكل (٦٢-٤)

« الوقاية ـ ١ »

استخدام تغذية خلفية موجبة لانها تزيد معدل انتقال التشغيل للمكبر من احد حالتى التشبع الى الحالة الأخرى .

ومن الدوائر شائعة الاستخدام ، التى تحتوى على تغذية خلفية موجبة ، دائرة المقارن أو دائرة كاشف المستوى وفيما يلى فكرة عن هذه الدائرة .

١- دائرة المقارن أو دائرة كاشف المستوى *Comparatpor or Level Detector Circuit*

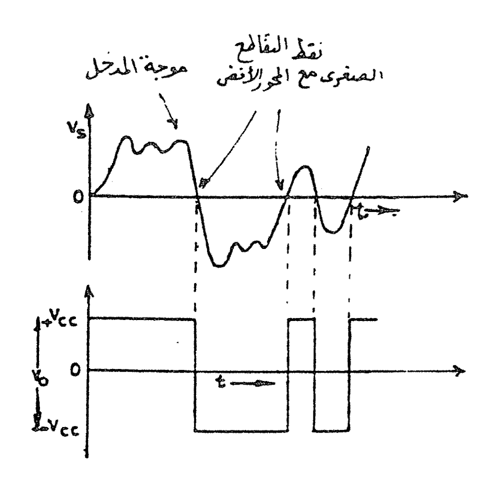
تستخدم هذه الدوائر بتوسع فى المتممات الاستاتيكية نظراً لحساسيتها للقيم ذات الكميات بطيئة التغيير .

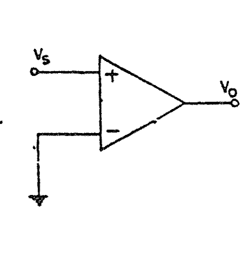
فعند استخدام مكبر تشغيلى ، وتوصيل طرف مدخله السالب (-) بالارض وتسليط موجة متغيرة V_s على طرف المدخل الموجب (+) كما فى شكل (٦٣-٤) نحصل على مخرج V_o له قيمة قصوى تساوى $\pm V_{cc}$ وتقطع محور الزمن (المحور الافقى) عند نفس نقط تقاطع موجة المدخل V_s مع محور الزمن ، وتعرف هذه الدائرة بدائرة كاشف التقاطع الصفرى *(Crossing Zero Detector)* .

ويوضح شكل (٦٤-٤) دائرة كاشف مستوى أو مقارن حيث يتم مقارنة القيمة اللحظية لموجة المدخل V_s بقيمة البداية V_t *(Preset Threshold Value)* ، وتضبط عن طريقة المقاومة المتغيرة ، فاذا كانت V_s اكبر من V_t نحصل على مخرج مساوٍ للقيمة $+V_{cc}$ ويتغير المخرج V_o الى القيمة $-V_{cc}$ عندما يكون V_s أقل من V_t .

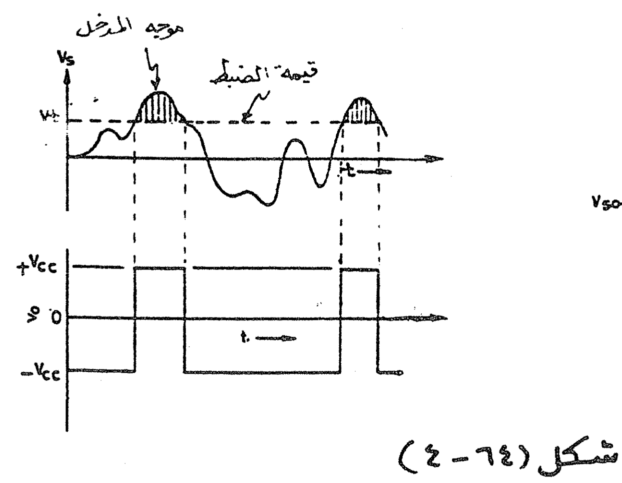
ويوضح شكل (٦٥-٤) دائرة كاشف مستوى تحتوى على تغذية خلفية موجبة ، وفيها يتم توصيل اشارة مرجع *(Reference signal)* لطرف المدخل الموجب (+) ، بينما نوصل موجة مدخل متغيرة على طرف المدخل السالب (-) . وعندما تكون موجة المدخل V_{in} تساوى صفر فان المخرج يظل بقيمة مستوى التشبع V_{ref} وبنفس القطبية ولذلك فعندما تكون موجة المدخل V_{in} عكس قطبية المرجع V_{ref} ، واكبر منها فى القيمة ، فان جهد المخرج يتغير لحظياً الى قيمة التشبع المعاكسة . حيث يتغير المخرج بين قيمتى التشبع V_{ref} و (القيمة الكلية لحياز *(d . c)* مقسومة على كسب المكبر) .

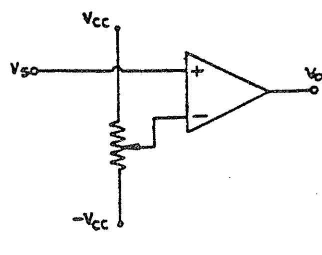
ويوضح شكل (٦٦-٤) دائرة كاشف مستوى استخدمت لاضاءة ديود اشعاع ضوئى *(LED)* ، حيث تضبط قيمة تشغيل البداية *(Threshold)* عن طريق المقاومة R_1 . وعندما تتعدى قيمة المدخل V_{in} قيمة تشغيل البداية (أحياناً تسمى قيمة المرجع *Reference*) فإن ديود الاشعاع الضوئى يتوهج وعندما تنخفض القيمة يعود الديود الى حالته العادية ، وتستخدم هذه الدائرة فى متممات الوقاية لاعطاء دلالة مرئية لاشتغال عنصر معين ، هذا العنصر هو المسئول عن اعطاء اشارة المدخل V_{in} .



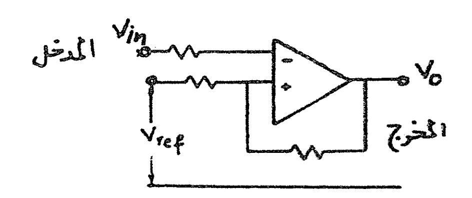


شكل (٦٣-٤)

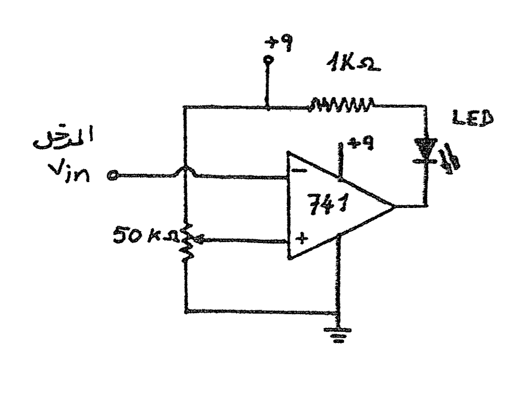




شكل (٦٤ - ٤)



شكل (٦٥ - ٤)



شكل (٦٦ - ٤)

٢ - دوائر المذبذبات متعددة التوافقيات *Multivibrators*

تستخدم المكبرات التشغيلية ذات التغذية الخلفية السالبة والموجبة للحصول على دوائر المذبذبات المتعددة ، وفيما يلى توضيح لهذه الدوائر :

أ - دائرة عدم الاستقرار *Astable Circuit*

يوضح شكل (٦٧-٤) دائرة عدم الاستقرار باستخدام مكبر تشغيلى ، ويكون مخرج الدائرة عبارة عن موجة مربعة تتذبذب دورياً بين قيمتى التشبع السالب والموجب ولها زمن دورة *(Time period)* تذبذب يعتمد على مكونات الدائرة (C, R_1, R_2, R_3) ويخضع للعلاقة الآتية :

$$T = 2\,CR_1 \log_e \left(1 + \frac{2R_3}{R_2}\right)$$

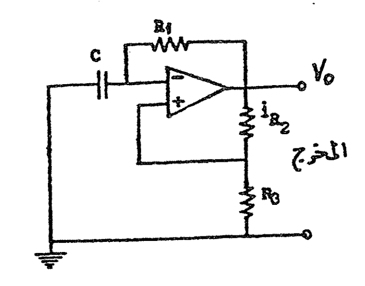
ب - دائرة أحادية الاستقرار *Monostable Circuit*

يوضح شكل (٦٨-٤) مكونات الدائرة ، ويلاحظ توصيل ديود على التوازى مع المكثف C بالطرف السالب للمكبر لضمان عدم وصول جهد موجب لهذا الطرف . وتكون الدائرة فى حالة استقرار احادى عندما يكون المخرج بقيمة جهد التشبع الموجب .

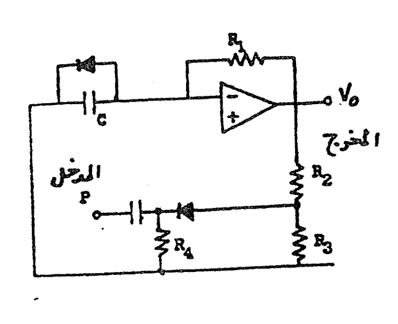
وعند تسليط اشارة سالبة كافية عند المدخل (p) فإن طرف مدخل المكبر الموجب يصبح لحظياً سالباً ، وتتغير حالة المخرج الى جهد التشبع السالب . ويتحول جهد مدخل المكبر السالب الى هذا الجهد من خلال C, R_1 ، هذا بفرض أن R_4 أكبر بكثير من المقاومة R_3 وذلك للتغلب على الحمل نحصل على زمن دورة عدم الاستقرار *(Unstable period)* من العلاقة الاتية :

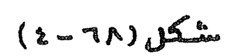
$$T = CR_1 \log_e \left(1 + \frac{R_3}{R_2}\right)$$

يوضح شكل (٦٩-٤) دائرة احادى الاستقرار تستخدم لتشغيل ملف المتمم (مقاومة ملف المتمم ١٨٠ أوم ويعمل بجهد ١٢ فولت) فى حالة عدم وجود اى اشارة مدخل عند النقطة P ، يكون طرف المدخل الموجب مؤرضاً من خلال المقاومة R_3 ، بينما يكون جهد الطرف السالب موجباً وذو قيمة صغيرة من خلال $R_1 - R_2$ وعلى ذلك تكون الكمية $(V_+ - V_-)$ سالبة وبالتالى فان المكبر يكون فى حالة تشبع سالب ، يتسبب فى ان يكون

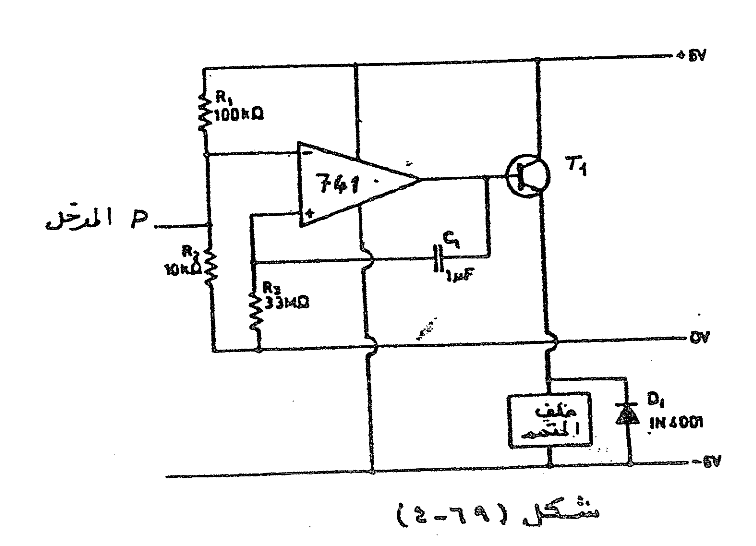


شكل (٦٧-٤)





شكل (٦٨-٤)



شكل (٦٩-٤)

T_1 فى حالة فصل اى ان ملف المتمـم فى حالـة فصل (لا يوجد تيار مستمر على طرفيه) .

وعند تسليط جهد سالب على الطرف (P) ، اى على طرف المدخل السالب ، فيصبح الطرف (-) سالباً بالنسبة للطرف (+) ويعمل على تحول المكبر الى حالة تشبع موجب وايضاً يتحول T_1 الى حالة التوصيل ويتبع ذلك مرور تيار مستمر بملف المتمم ويعمل على تشغيله .

وعندما يتحول مخرج المكبر الى حالة التشبع الموجب ، يبدأ شحن المكثف C_1 والذى يدفع جهد الطرف (+) للمكبر ان يصبح موجباً الى قيمة حوالى ١٠ ڤولت وهذا يساعد على استمرار المكبر فى حالة التشبع الموجب حتى يتم فصل مصدر التغذية السالب عن الطرف P . عندئذ يبدأ C_1 فى التفريغ ببطئ فى المقاومة R_3 ، ولمدة زمنية معينة تعتمد على مكونات الدائرة ، حتى ينخفض جهد الطرف الموجب ويصبح أقل من جهد الطرف السالب ، عندئذ يتحول المكبر مرة ثانية الى حالة التشبع السالب ، ويصبح T_1 فى حالة فصل وبالتالى يعود ملف المتمم الى حالته الاولى (غير شغال) .

جـ- دائرة ثنائية الاستقرار *Bistable Circuit*

يبين الشكل (٧٠-٤) مكونات الدائرة ، والتى تغذيها نبضات مترددة (موجبة وسالبة) على طرف المدخل السالب . فعندما تكون النبضة موجبة يصبح مخرج المكبر فى حالة تشبع سالب ، بينما اذا كانت النبضة سالبة فان المخرج يتحول الى حالة تشبع موجب .

ويوضح لنا الشكل (٧١-٤) دائرة ثنائية الاستقرار مع ترانزستور لتشغيل ملف المتمم (مقاومته أكبر من ١٨٠ أوم وجهد التشغيل ١٢ ڤولت) ، ففى هذه الدائرة يعمل المكبر كمفتاح الكترونى *(Electronic Switch)* مخرجه إما أن يكون حالة تشبع سالب أو حالة تشبع موجب .

اذا أخذنا حالة الدائرة ولها المعطيات الاتية : المكبر فى حالة تشبع موجب والترانزستور فى حالة توصيل وملف المتمم فى حالة تشغيل وفرضنا تسليط نبضة جهد موجبة على الطرف P فيتحول المكبر الى حالة تشبع سالب ويتحول الترانزستور الى حالة الفصل وبالتالى يصبح ملف المتمم غير شغال . وحيث أن طرف المدخل الموجب للمكبر متصل مباشرة بالمخرج فإن هذا يساعد على احتفاظ المكبر بحالته حتى تلغى

نبضة الجهد الموجبة على الطرف P .

ويفرض تسليط نبضة جهد سالبة على الطرف P فيتحول المكبر الى حالة التشبع الموجب ، ويتحول الترانزستور الى حالة التوصيل وبذلك يعمل على مرور تيار مستمر بملف المتمم .

ومن هذا يتضح ان المتمم يكون فى حالة تشغيل عندما تكون نبضة المدخل سالبة ويكون فى حالة عدم تشغيل عندما تكون نبضة المدخل موجبة .

٣ - مولد موجة مربعة *Square Wave Generator*

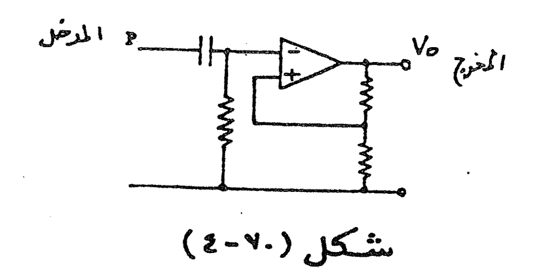
أو دائرة مذبذب الإرخاء *or Relaxation Oscillation Circuit*

يستخدم المكبر التشغيلى بكفاءة عالية جداً للحصول على موجات مربعة ذات تردد منخفض وتتكون الدائرة ، كما فى شكل (٧٢-٤) ، من مقسمى جهد ، كل منهما متصل بالمخرج ، أحدهما متصل بطرف المدخل السالب (عبارة عن R_1 ، C_1) والاخر متصل بطرف المدخل الموجب (عبارة عن R_2 ، R_3) ، يعمل المكبر كمفتاح تبعاً للآتى :

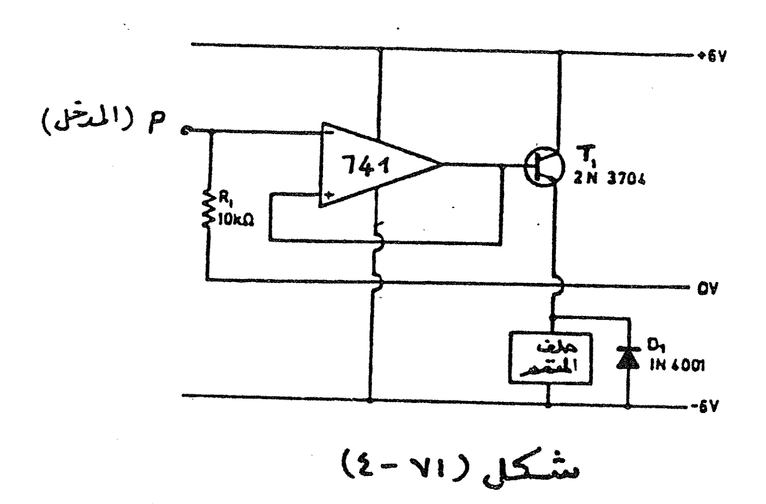
بفرض أن C_1 غير مشحون وأن الجهد على كل من المقسمين مرتفع بحيث يكون جهد المكبر هو مستوى التشبع الموجب . عند هذه الظروف ، يكون نصف جهد التشبع الموجب مسلطاً على طرف المدخل الموجب خلال R_3 ، R_2 ، بينما الطرف السالب فيخضع لزيادة فى الجهد الموجب الناتج عن وجود الدائرة R_1 ، C_1 (عندما يشحن C_1 تدريجياً) وتكون نتيجة ذلك أن الموجة الحادثة على المدخل السالب عبارة عن موجة مائلة *(Ramp Wave)* وعلى ذلك يكون مخرج المكبر مساوياً جهد التشبع الموجب اذا كان $(V_+ - V_-)$ قيمة موجبة ويكون المخرج مساوياً جهد التشبع السالب اذا كان $(V_+ - V_-)$ قيمةً سالبة ، والنتيجة تأرجح المخرج فى شكل موجة مربعة معتمداً على مكونات الدائرة وهى $R_1 - R_2 - R_3 - C_1$ ويمكن الحصول على استقرار ممتاز للتردد ، بالاضافة الى التحكم فى هذا التردد ، اذا كانت احدى مكونات الدائرة ذات قيمة متغيرة .

٤- دائرة توحيد نصف موجة *Half - Wave Rectifier Circuit*

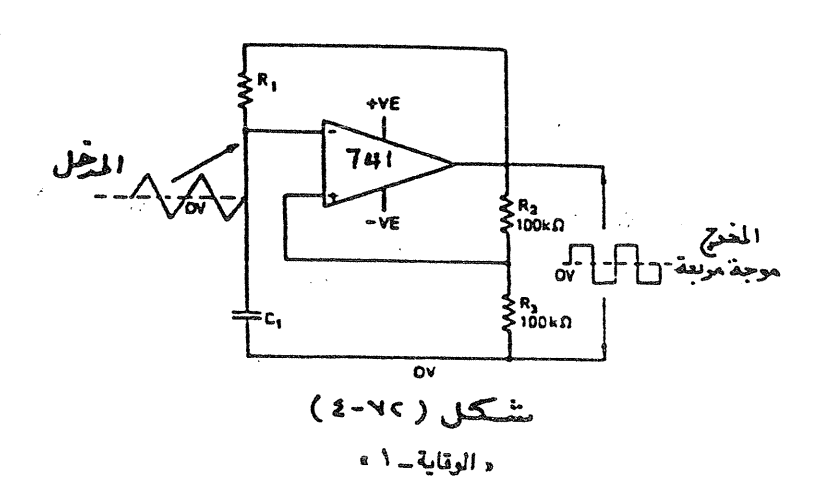
من دراستنا للديودات التقليدية اتضح ان الديود يبدأ فى التوصيل عند قيمة جهد مدخل معينة تعرف هذه القيمة بالجهد المفصلى *(Knee Voltage)* ولذلك لا يمكن تحويل اشارات المدخل ذات القيم الصغيرة الى *(d.c)* باستخدام الديودات التقليدية . وهذه



شكل (٧٠-٤)



شكل (٧١-٤)



شكل (٧٢-٤)

« الوقاية ـ ١ »

القيمة تساوى ٦٠٠ مللى ڤولت فى الديودات السيليكونية وبالتالى اذا كانت قيم المدخل أقل من هذه القيمة فلا يحدث توحيد أيضاً .

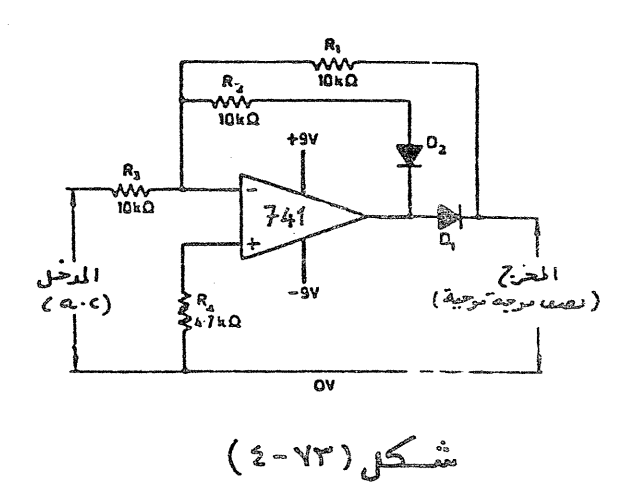
وعند استخدام مجموعة من المكبرات التشغيلية وديودات سيليكونية يمكن أن نحصل على توحيد لقيم مدخل صغيرة جداً ، حيث يتم تكبير الموجة أولا خلال المكبر ثم توحيدها .

ويستخدم شكل (٧٣-٤) للحصول على توحيد نصف موجة موجبة ، سلطت موجة المدخل خلال المقاومة R_3 ، ويتم التغذية الخلفية السالبة إما من خلال R_1 - D_1 أو R_2 - D_2 . وعند نصف الموجة الموجبة للمدخل ، نحصل على قيمة مخرج سالبة للمكبر والنتيجة ان يكون D_1 موصلا من خلال R_2 ويكون D_1 حياز عكسى ، ويكون المخرج النهائى للدائرة مساوياً الصفر . وعند نصف الموجة السالبة للمدخل ، نحصل على قيمة مخرج موجبة للمكبر ، النتيجة ان يكون D_1 موصلا من خلال R_1 ويكون D_2 حياز عكسى ، ويكون المخرج النهائى للدائرة موجباً . ويعتمد كسب الجهد فى هذه الدائرة على النسبة R_1/R_3 أو R_2 / R_3 . وعادة تكون $R_1 = R_2$ ويصبح كسب الجهد مساوياً R_1 / R_3 . ويمكن عن طريق تغيير قيم هذه المقاومات الحصول على الكسب المناسب المطلوب ، ويراعى فقط أن تكون قيمة كل من R_2 ، R_1 أكبر من قيمة R_3 . ونحصل من هذه الدائرة إما على مخرج سالب أو مخرج موجب ، حسب الضرورة ، وفى حالة الاحتياج الى مخرج موجب فقط يتم إلغاء المقاومة R_2 .

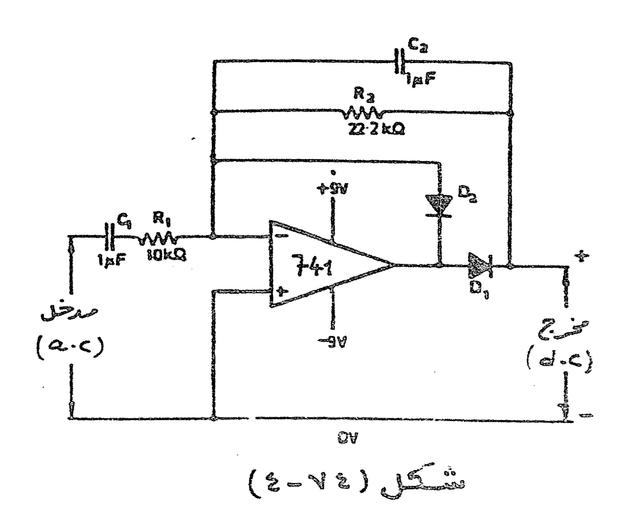
ويوضح شكل (٧٤-٤) مكونات دائرة تستخدم لتحويل موجة تيار متردد الى نصف موجة تيار مستمر *(Half - Wave (a.c) / (d.c) Converter)* ، ويستخدم المكثف C_2 لعملية التكامل . هذه الدائرة لها كسب يساوى الوحدة .

٥- دائرة توحيد موجة كاملة *Full - Wave Rectifier Circuit*

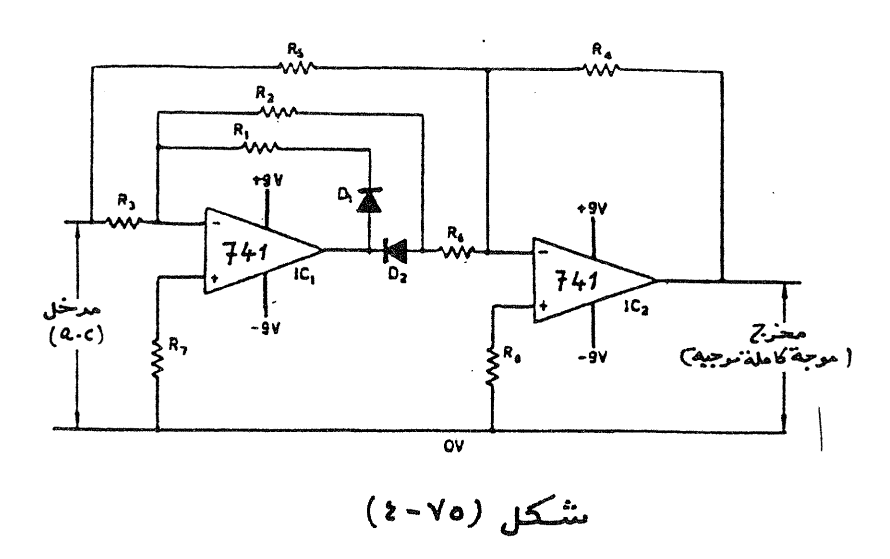
يوضح شكل (٧٥-٤) أحد الدوائر المستخدمة للحصول على موجة كاملة موحدة باستخدام مكبرات تشغيلية . ونحصل من المكبر IC_1 على توحيد نصف موجة سالبة ، ويحتوى IC_2 على مدخلين على الطرف السالب : أحدهما من المدخل الرئيسى *(a . c)* ، والآخر من مخرج IC_1 (وفى هذه الحالة يشبه الجامع *Adder*) . ويكون مخرج الدائرة عبارة عن موجة كاملة موجبة لها كسب يعتمد على مكونات الدائرة .... ، R_2 ، R_1



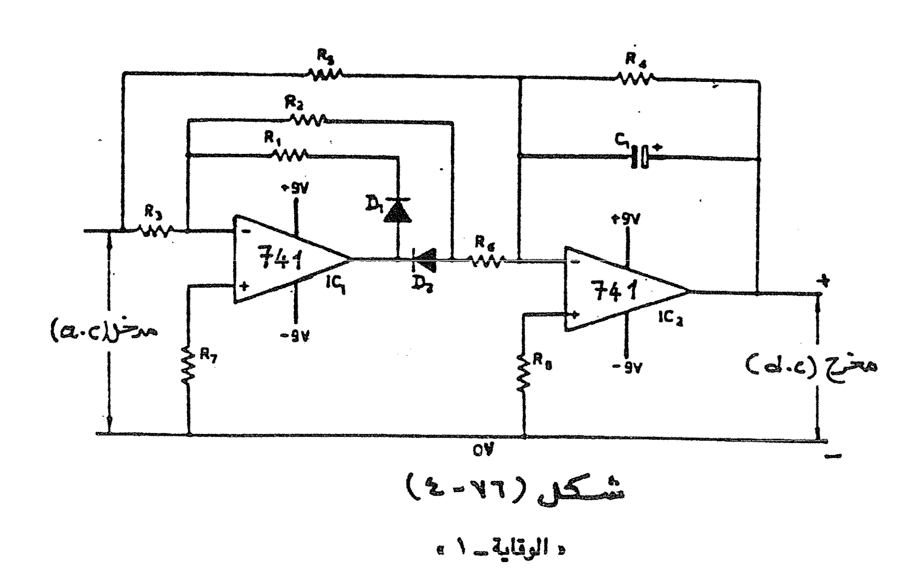
شكل (٧٣-٤)



شكل (٧٤-٤)



شكل (٤-٧٥)



شكل (٤-٧٦)

يوضح شكل (٧٦ -٤) دائرة مكتملة لتحويل موجة تيار متردد (*a . c*) الى تيار مستمر *(Full - Wave (a.c) / (d.c) Converter) (d . c)* .

ذكرنا فيما سبق أن المكبرات التشغيلية الخطية ذات الثمانية أرجل شائعة الاستخدام هى : *741 , 709* . وفيما يلى نوعان أخران مستخدمان فى متممات الوقاية .

أ - مكبر تيار مستمر احادى الطبقة طراز *RCA CA 3000*

RCA CA 3000 Monolithic D .C Amplifierrr

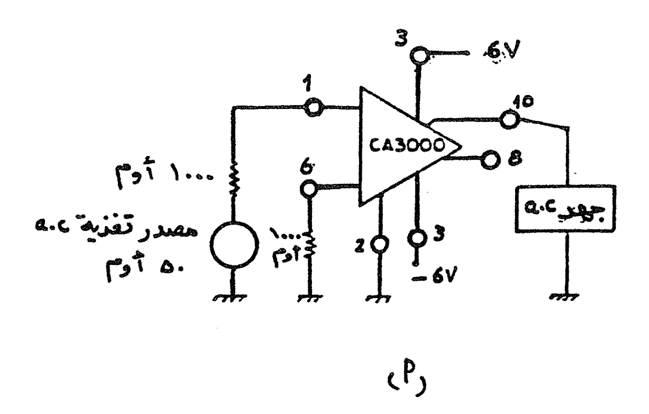
يوضح شكل (٧٧-٤)أ رسماً تخطيطياً لمكبر طراز *RCA CA 3000* بينما يوضح شكل (٧٧-٤)ب الدائرة التفصيلية لهذا المكبر ويتكون ذلك الطراز من مكبر تفاضلى احادى المرحلة *Single Stage Differential Amplifier* (الترانزستورين T_2 ، T_4) وباعث تابع ، كمدخل *(Emitter - Follower)* (الترانزستورين T_5 ، T_1) ، ومصدر تيار ثابت *Constant Current Source* (الترانزستور T_3) . وتستخدم المقاومتان R_4 , R_5 لتحسين الخاصية الخطية للمكبر *(Linearity)* ، أما الديودان D_2 ، D_1 فهما لتعويض درجة الحرارة .

ب - المكبر التشغيلى أحادى الطبقة طراز *RCA CA 3015*

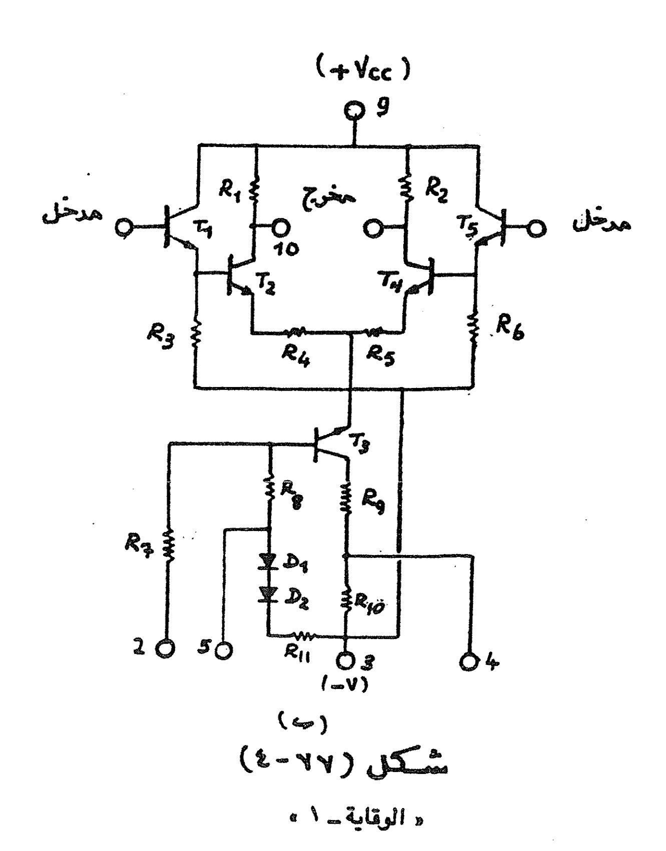
RCA CA 3015 Monolithic Operational Amplifier

يتم استخدام عدد من المكبرات التفاضلية التى تتصل تعاقبيا للحصول على كسب عالى ويستخدم المكبر التشغيلى أحادى الطبقة للحصول على كسب عالى حوالى ٦٠ ديسيبل أو أكثر ، ومن الملاحظ ان معاوقة المدخل عالية إذ تبلغ حوالى ١٠ كيلوأوم أو أكثر ، ولها مدى واسع *(Wide - band)* . ويستخدم هذا النوع بكفاءة للحصول على العمليات الحسابية بالاضافة الى استخدامه فى الاتصالات .

ويوضح شكل (٧٨-٤)أ رسماً تخطيطياً لمكبر طراز *RCA CA 3015* ، بينما يوضح شكل (٧٨-٤)ب الدائرة التفصيلية لهذا الطراز . وتحتوى الدائرة على مكبرين تفاضليين ، وديودين ، وعدد ١٠ ترانزستورات ، وعدد ١٥ مقاومة كما يحتوى على ١٢ طرف *(Terminal)* . ويتم الحصول على مخرج المكبر التشغيلى من خلال الترانزستور T_{10} . ويعمل الترانزستوران T_7 ، T_6 كمصدر تيار ثابت لمرحلتى المكبرين التفاضليين ،



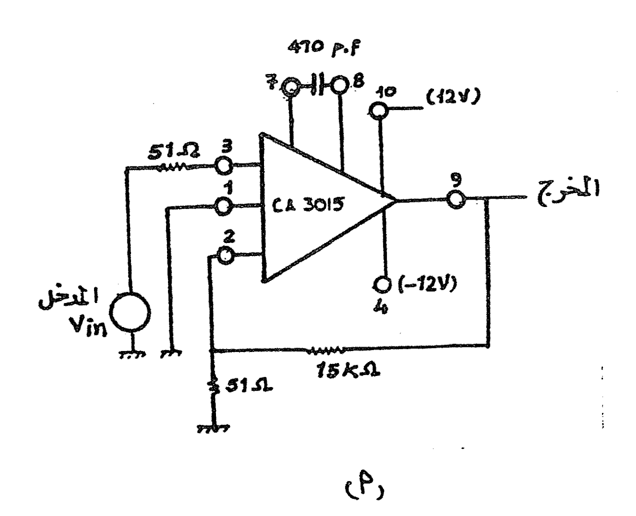
(أ)



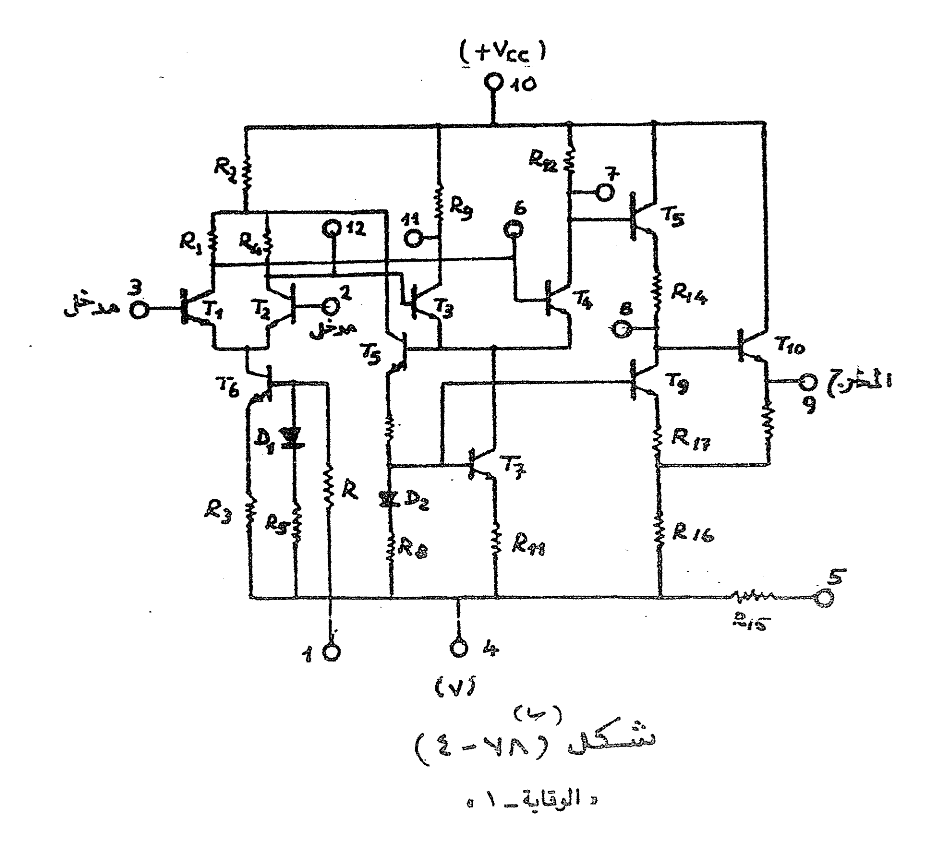
(ب)

شكل (٧٦-٤)

« الوقاية ـ ١ »



(أ)



(ب)

شكل (٧٨-٤)

« الوقاية - ١ »

أمـا T_5 فيقلل خطأ الاشارات وقيم المقاومات لهذه الدائرة كالاتى :

$R_1 = R_4 = 10\ Kohm$	$R_7 = R_8 = 5.8\ Kohm$	$R_{15} = 1\ Kohm$
$R_2 = 4.1\ Kohm$	$R_9 = R_{12} = 7.5\ Kohm$	$R_{16} = 15 Kohm$
$R_3 = R_5 = 2\ Kohm$	$R_{11} = 2.9\ Kohm$	$R_{18} = 5.9\ Kohm$
$R_6 = 11.3\ Kohm$	$R_{14} = 4\ Kohm$	$R_{17}' = 15\ Kohm$

دائرة متكاملة باستخدام ظاهرة "هول" *"Hall" Effect Integrated Circuit*

يرمز لهذه الدائرة بالرموز *(HE - IC)* واصبحت حاليا تستخدم بتوسع ، وتتكون كما فى شكل (٧٩-٤) من :

- عنصر "هول" يحقق العلاقة الموضحة فى شكل (٧٩-٤)أ
- دائرة اطلاق "شميت" *(Schmitt Trigger Circuit)*
- مكبر
- عنصر مخرج

وتستخدم هذه الدائرة لتغذية الدوائر المنطقية *(Logic Circuits)* نحصل من عنصر "هول" على جهد اطلاق ، لتغذية دائرة "شميت" ، وذلك عندما تكون كثافة الفيض المغناطيسى ٠,٠٥ تسلا وللرجوع للوضع الاصلى نحتاج الى ٠,٠٢ تسلا ، وتبعاً للعلاقة الموضحة بشكل (٧٩-٤)أ والتى تعرف بخاصية التخلفية المغناطيسية *Hysteresis Characteristic* ويكون حجم هذه الدائرة حوالى ١ مم^2 وتحتوى على عدد ثمانية أرجل وتحتاج الى ٥ فولت كمصدر تغذية بالتيار المستمر *(d . c)* .

توجد دوائر أخرى متعددة تتكون اساساً من الدوائر المتكاملة سنتعرض لها فى اماكن استخدامها .

٢ - الدوائر الرقمية واستخداماتها فى متممات الوقاية

Digital Circuit and Their Applications In Protective Relaying

الدائرة الرقمية هى دائرة تشغيل *(Switching Circuit)* وتمثل بصندوق يحتوى على عدد من المداخل والمخارج ، كما فى شكل (٨٠-٤) ، وتكون حالة المدخل أو المخرج إما

حالة توصيل (Conducting or ON) أو حالة فصل (Unconducting or OFF) وكما ذكرنا سابقاً لا يهمنا ، فى هذا المجال ، كيف تصمم هذه الدوائر أو ما هى مكوناتها بالتفصيل ولكن يجب أن نعرف ــ فى مجال علم الوقاية ــ ما هى دوال هذه الدوائر ، وكيف تعمل ؟

توجد خمسة دوال شائعة الاستخدام تشكل بواسطة الدوائر المنطقية وهى : AND, OR, NOT, NOR, NAND . وبالاضافة الى استخدامها فى متممات الوقاية الاستاتيكية والحاسبات الرقمية وتستخدم ايضاً فى اجهزة التحكم.وفى الدوائر المنطقية يكون المتغير المنطقى (Logic variable) ، سواء للمدخل أو المخرج ، عبارة عن حالة من إحدى الحالتين الآتيتين :

- عالى أو منخفض (High or Low)
- موجب أو سالب (+ or -)
- صفر أو واحد (1 or o)

فمثلا يمكن التعبير عن جهد مدخل دائرة منطقية بأنه عبارة عن : 1 أو + أو H وعن عدم وجوده o أو – أو L وسيتم توضيح هذا بالتفصيل فى الدوال المنطقية .

١- دالة "AND" AND Function

لمعرفة ما المقصود بدالة AND ، نفترض وجود اشارتى مدخل V_b ، V_a (كل منهما موجبة) على الطرفين A,B بالشكل (٨١-٤)أ ، من المعروف سلفاً ، أن الديود يكون فى حالة توصيل "ON" اذا كان حيازاً موجباً إما إذا كان حيازاً سالباً فيصبح غير موصل "OFF" وبذلك تكون نتيجة أن V_b ، V_a موجب فان الديودين يصبحان حيازاً سالباً ، اى لا يمر تيار فى المقاومة R ، بمعنى آخر ان المرجع V_c + يظهر كله على المخرج (C) وعلى ذلك يمكن تمثيل هذه الدائرة بصندوق له مدخلين A,B ومخرج C . ولكى نحصل على مخرج موجب يجب أن يكون المدخلان موجبان فى نفس اللحظة ، فاذا كان اى من المدخلين سالباً فإن المخرج يصبح سالباً . وتلخص حالتى المدخل والمخرج فيما يسمى بجدول الحقيقة (Truth Table) كما فى شكل (٨١-٤)ب ويطلق اسم الدالة AND ، عند استخدام ديودات ، بدائرة ديود منطقى (Diode Logic Circuit) ويرمز لها بالرموز DL

ويمكن ايضاً التعبير عن المتغير الموجب (+) بالرقم ١ أو بالرمز H (وهو اختصار كلمة $High$) بالمثل يمكن التعبير عن المتغير السالب (-) بالرقم (0) أو الرمز L (وهو اختصار كلمة Low) وعلى ذلك فان اى من الجداول التالية يعطى نفس المعنى :

A	B	C
1	1	1
1	0	0
0	1	0
0	0	0

A	B	C
H	H	H
H	L	L
L	H	L
L	L	L

A	B	C
+	+	+
+	-	-
-	+	-
-	-	-

تمثل الدالة "AND" بأحد الاشكال (٨٢-٤)أ ، ب ، جـ وتكتب معادلتها بأحد المعادلات التالية :

$A\ AND\ B = C$

أو $A \cap B = C$

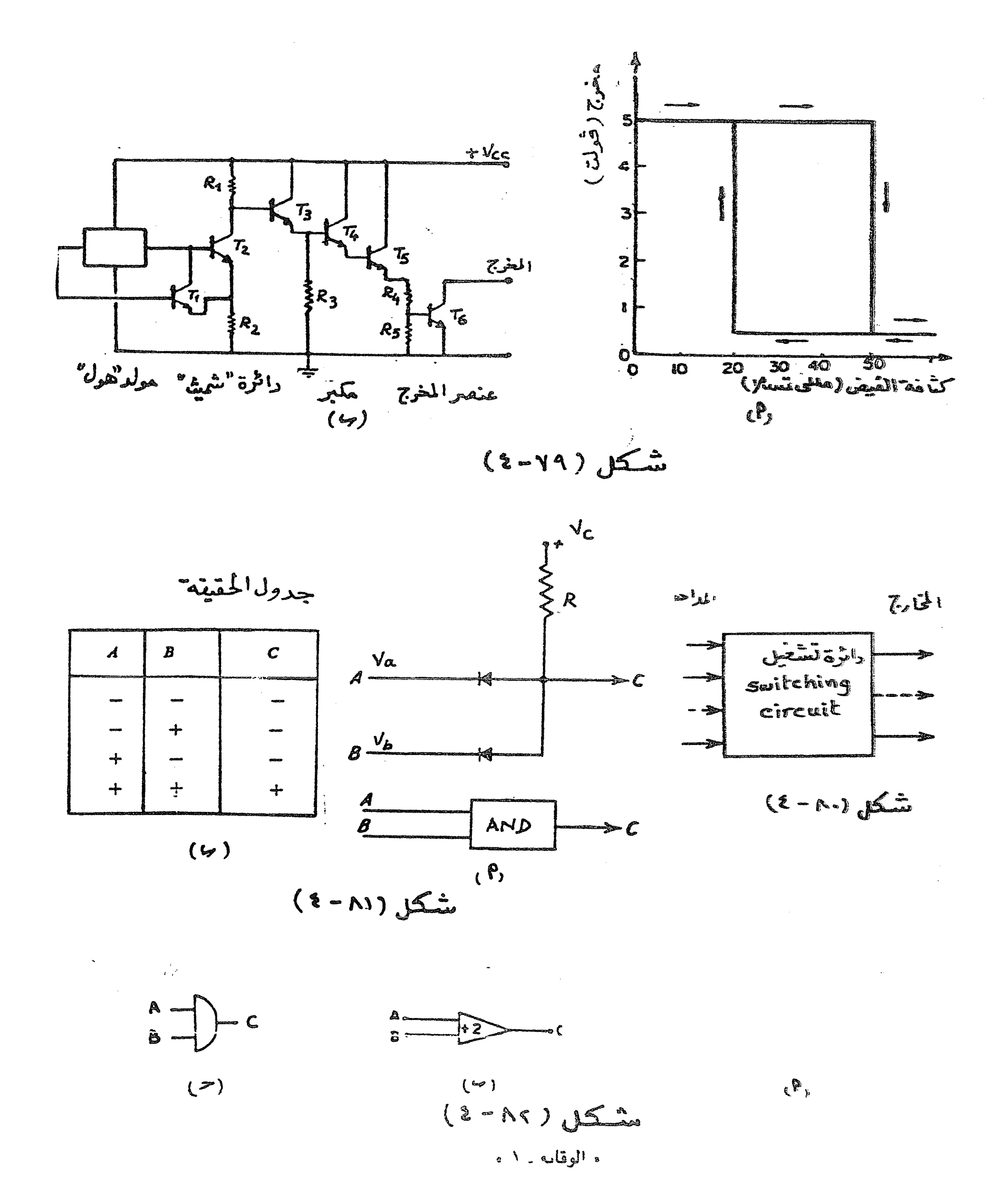
أو $A \wedge B = C$

أو $A \circ B = C$

وجميعها تعطى نفس المعنى :

ويمكن ان تكون الدالة "AND" عبارة عن ترانزستورين من النوع NPN أو PNP كما فى شكل (٨٣-٤) وتسمى فى هذه الحالة دائرة ترانزستور منطقية *(Transistor Logic Circuit)* ويرمز لها بالرموز TL . كما يراعى فى هذه الحالة أن يكون مدخلا الترانزستوران فى نفس اللحظة إما موجباً للنوع PNP أو سالباً للنوع NPN حتى يمكن الحصول على مخرج .

يعبر عن الدالة "AND" فى دوائر متممات الوقاية كما فى شكل (٨٤-٤)أ حيث يتبين تمثيل نقطتى تلامس (كونتاكت) متصلين على التوالى ، يوصل الكونتاكت a عندما نوصل اشارة المدخل على ملفه A ، ويوصل الكونتاكت b عند توصيل اشارة المدخل



A	B	C
−	−	−
−	+	−
+	−	−
+	+	+

شكل (٧٩-٤)

شكل (٨٠-٤)

شكل (٨١-٤)

شكل (٨٢-٤)

على ملفه B . ولكى نحصل على مخرج عند x يجب ان يوصل كل من a,b فى نفس اللحظة ، اى يجب تسليط اشارة مصدر على A,B فى نفس اللحظة،بمعنى أخر إذا كان توصيل a,b سوف يعمل على تشغيل الملف X ، والذى يتبعه توصيل كونتاكت x {كما فى شكل (٨٤-٤)ب} فانه يلزم ان يوصل كلا من a,b فى نفس اللحظة لكى يوصل x . واذا كان أى من a,b مفتوحاً فان x سيظل مفتوحاً وهكذا ... ويمكن تلخيص هذا فى الجدول التالى :

a	b	x	
1	1	1	كل من a,b مقفول .... x مقفول
1	0	0	a مقفول ، b مفتوح .... x مفتوح
0	1	0	a مفتوح ، b مقفول .... x مفتوح
0	0	0	a مفتوح ، b مفتوح .... x مفتوح

من هذا الجدول يمكن كتابة المعادلة الاتية :

$$F_x = a \cdot b$$

حيث F_x هى دالة x والحالة الوحيدة التى تعطى مخرج لهذه المعادلة هى حالة $b = 1$, $a = 1$.

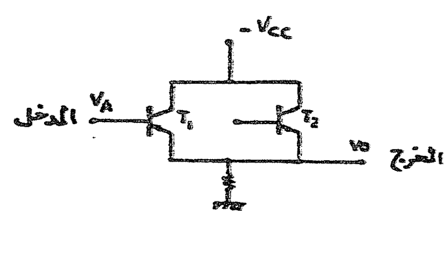
(قياساً على ذلك يمكن ان يكون عدد متغيرات المدخل اكثر من اثنين) .

٢- دالة "OR" "OR Function"

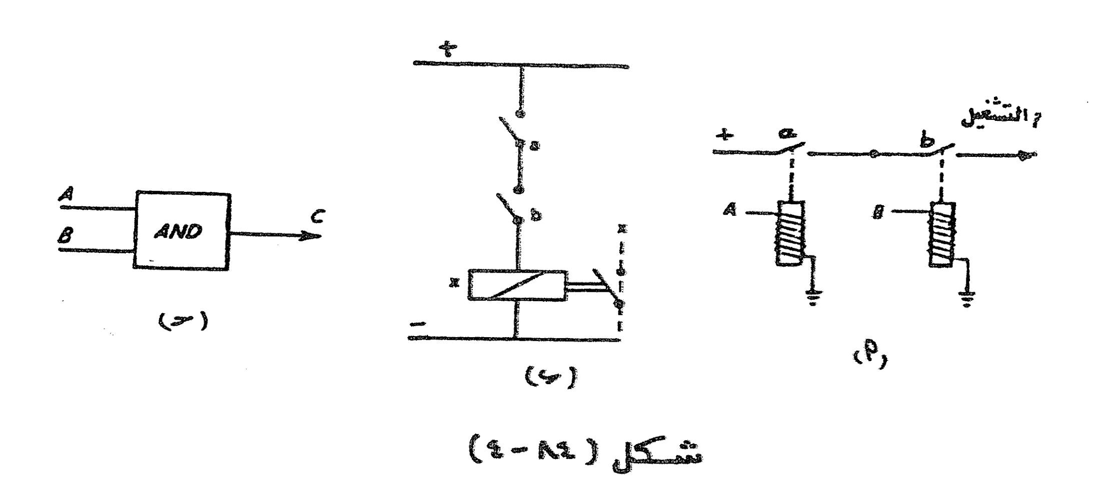
يستخدم الشكل (٨٥-٤) لتوضيح معنى دالة "OR" ، حيث تتكون الدائرة من ديودين ولو افترضنا وجود اشارة مدخل موجبة على كل من A,B أو على احدهما (A) أو (B) تتسبب فى ان يكون احد الديودين او كليهما حياز امامى اى فى حالة توصيل ، معنى ذلك ان نحصل على مخرج عند C اذا كان اى من المدخلين او كليهما موجباً.

تلخص هذه الحالة فى جدول الحقيقة بشكل (٨٥-٤) .

كما يعطى اى من الجداول التالية نفس المعنى :



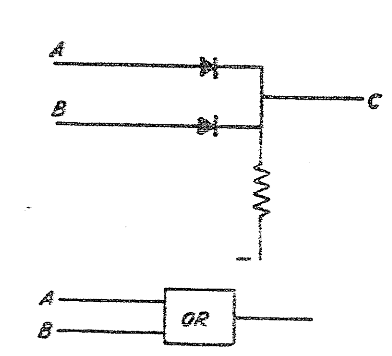
شكل (٨٣-٤)



شكل (٨٤-٤)

جدول الحقيقة

A	B	C=A OR B
−	−	−
−	+	+
+	−	+
+	+	+



شكل (٨٥-٤)

A	B	C
1	1	1
1	0	1
0	1	1
0	0	0

A	B	C
H	H	H
H	L	H
L	H	H
L	L	L

A	B	C
+	+	+
+	-	+
-	+	+
-	-	-

تمثل الدالة "OR" بأحد الاشكال (٨٦-٤)أ ، ب ، جـ وتكتب معادلتها بأحد الطرق التالية :

$$A \; OR \; B = C$$

او $A \; U \; B = C$

او $A \; V \; B = C$

او $A + B = C$

وجميعها تعطى نفس المعنى

يوضح شكل (٨٧-٤) دالة "OR" باستخدام ترانزستور وتخضع لنفس الفكرة .

ويمكن التعبير عن الدالة "OR" فى دوائر متممات الوقاية كما فى شكل (٨٨-٤)أ حيث يمثل نقطتى تلامس (كونتاكت) متصلين على التوازى ، فعند توصيل الكونتاكت a أو الكونتاكت b نحصل على مخرج عند x فى شكل (٨٨-٤)ب تم توصيل الكونتاكتين a,b على التوازى لتشغيل ملف X والذى بدوره يوصل الكونتاكت x الخاص به ، ولذلك فعند توصيل اى من الكونتاكتين يوصل الكونتاكت x . والجدول التالى يلخص هذه العملية:

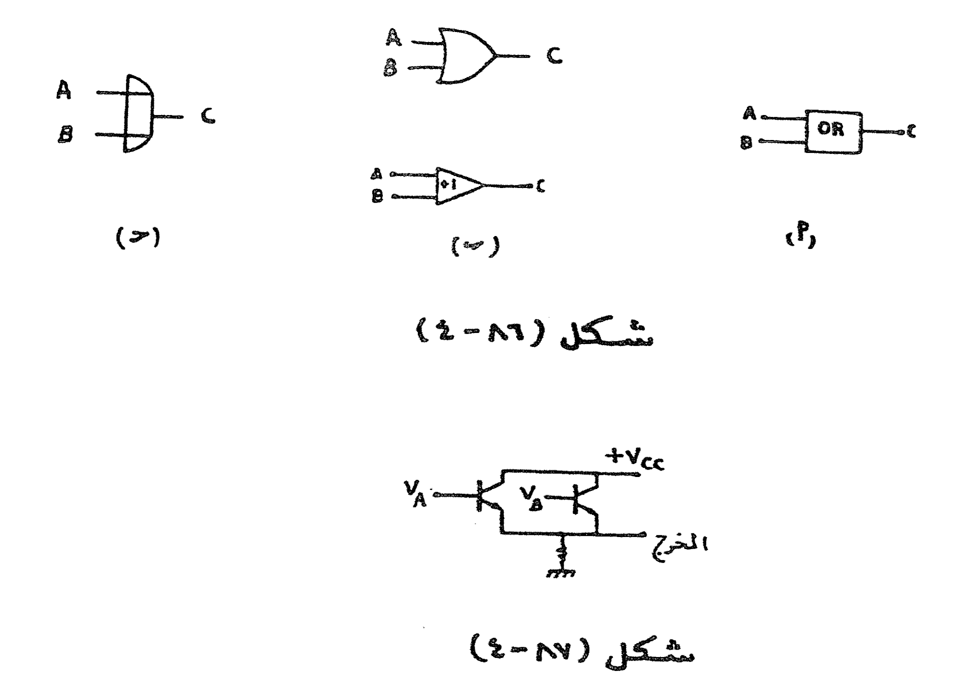
a	b	x
1	1	1
1	0	1
0	1	1
0	0	0

a مقفول ، b مقفول .... x مقفول

a مقفول ، b مفتوح .... x مقفول

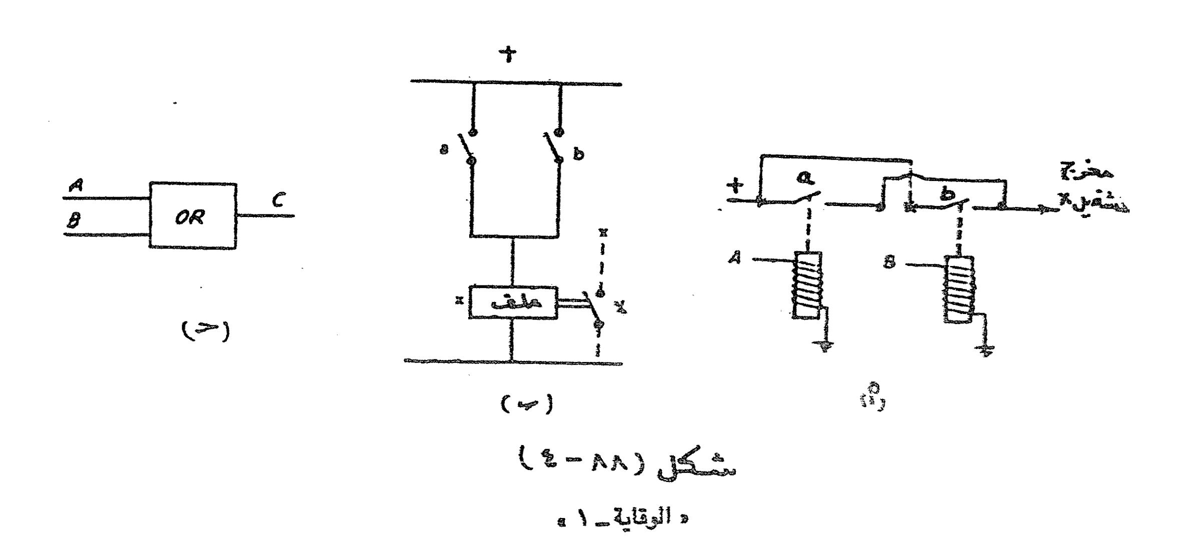
a مفتوح ، b مقفول .... x مقفول

a مفتوح ، b مفتوح .... x مفتوح



شكل (٨٦-٤)

شكل (٨٧-٤)



شكل (٨٨-٤)

« الوقاية-١ »

من هذا الجدول يمكن كتابة المعادلة الآتية :

$$F_x = a + b$$

وقياساً على ذلك يمكن ان يكون عدد متغيرات المدخل أكثر من اثنين .

٣- الدالة "NOT" *NOT Function*

معنى هذه الدالة أن حالة المخرج فى عكس حالة المدخل ولذلك يسمى ايضاً قالب *(Inverter)* .

يوضح الشكل (٨٩-٤)أ تمثيل لهذه الدالة فى متممات الوقاية التقليدية ، حيث يحتوى الكونتاكتور $\dot{A}$ على نقطة تلامس وضعها الطبيعى (بدون وجود اشارة مدخل على الملف) مقفول . ولكن عند وضع اشارة مدخل على الملف تفتح نقطة التلامس . أو يمثل كما فى شكل (٨٩-٤)ب حيث تتم تغذية ملف الكونتاكتور $\dot{A}$ عن طريق كونتاكت مفتوح A ، والكونتاكت C تابع لتشغيل الملف $\dot{A}$ ووضعه الطبيعى مقفول . أى أن عند توصيل A يفتح C .

وعلى ذلك تخضع الدالة *NOT* للعلاقة :

$$C = \bar{A}$$

حيث $\bar{A}$ تعنى عكس A

ويكون جدول الحقيقة للدالة *NOT* :

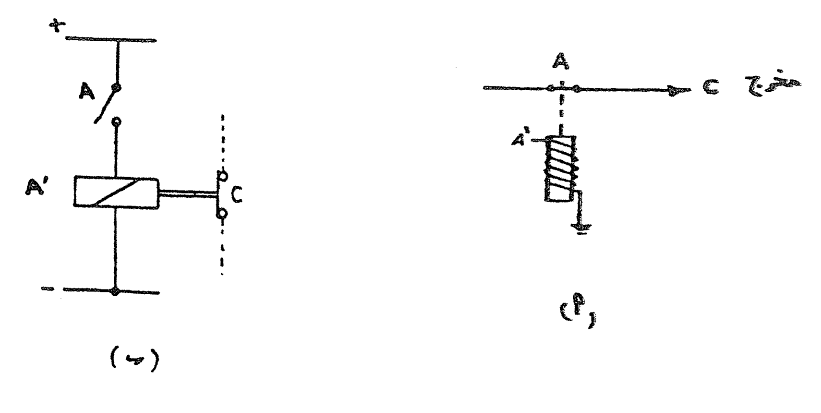
A	C
1	0
0	1

A	C
H	L
L	H

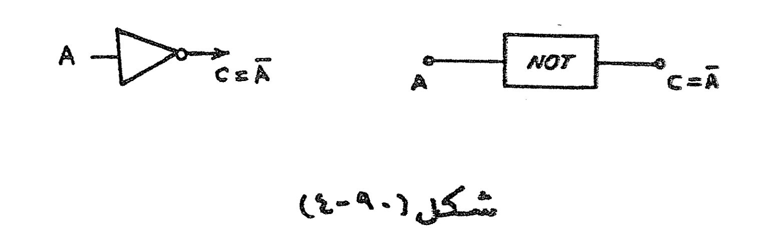
A	C
+	-
-	+

ويوضح شكل (٩٠-٤) طريقة تمثيل الدالة *NOT* .

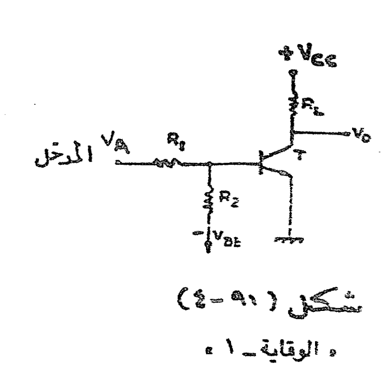
يوضح شكل (٩١-٤) دالة *NOT* باستخدام ترانزستور . فعند تسليط اشارة مدخل



شكل (٨٩-٤)



شكل (٩٠-٤)



شكل (٩١-٤)

V_A يكون المخرج مساوياً الصفر بينما اذا كان V_A غير موجود نحصل على مخرج .

٤- دوال مركبة *Combined Functions*

من الدوال *AND* ، *OR* ، *NOT* يمكن الحصول على دوال مركبة

فمثلاً باستخدام الدالتين *AND* ، *NOT* نحصل على دالة تسمى *NAND*

كذلك باستخدام الدالتين *OR* ، *NOT* نحصل على دالة تسمى *NOR*

أ - دالة *"NAND"* *NAND Function*

بإختصار يمكن القول أن مخرج دالة *"NAND"* هو عكس مخرج دالة *AND* فمثلاً بإعادة كتابة جدول الحقيقة لدالة *AND* واضافة خانة بالجدول لمخرج دالة *"NAND"* فإن الجدول يصبح

A	B	A AND B	A NAND B
+	+	+	-
+	-	-	+
-	+	-	+
-	-	-	+

ويرمز لمخرج الدائرة بالرمز *C* ويعبر عنه باحدى المعادلات الآتية

$C = A / B$

أو $C = \overline{A} + \overline{B}$

أو $C = \overline{AB}$

وعلى ذلك تكون جداول الحقيقة كالتالى

A	B	$C = \overline{AB} = \bar{A} + \bar{B}$
+	+	-
+	-	+
-	+	+
-	-	+

A	B	C
H	H	L
H	L	H
L	H	H
L	L	H

A	B	C
1	1	0
1	0	1
0	1	1
0	0	1

ويوضح شكل (٩٢ - ٤)أ طرق تمثيل الدالة *"NAND"*

ويبين شكل (٩٢ - ٤)ب تمثيل الدالة *"NAND"* فى المتممات التقليدية ، ويتضح من طريقة توصيل الكونتاكت على التوازى ، والتى وضعها الطبيعى مغلق ، أن الحالة الوحيدة التى لا يكون فيها مخرج هى حالة أن الكونتاكتين مفتوحين .

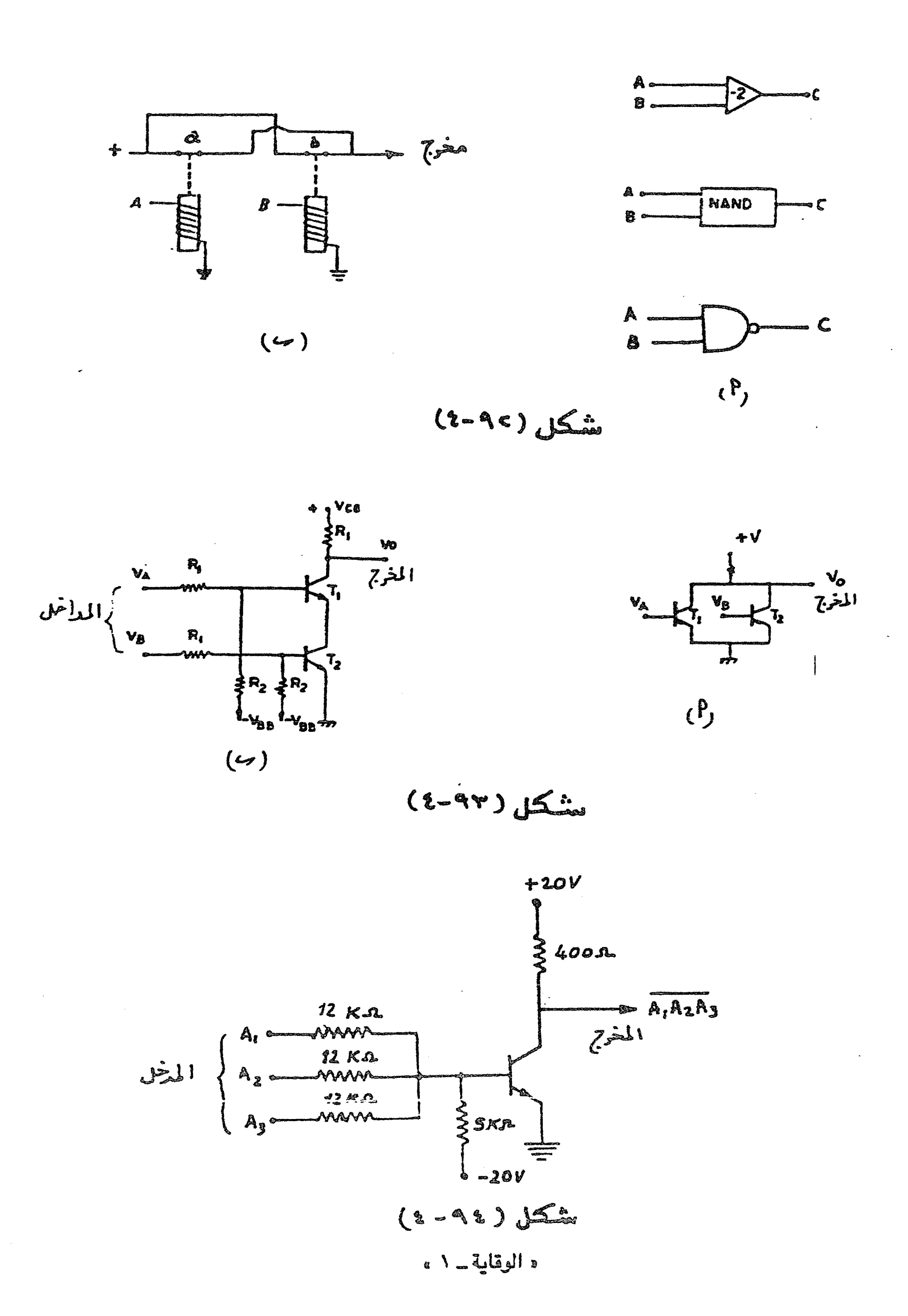
ويمكن الوصول إلى نفس النتيجة باستخدام ترانزستورين ، فإما أن يتم توصيلهما على التوازى كما فى شكل (٩٣ - ٤)أ ، أو على التوالى كما فى شكل (٩٣ - ٤)ب وتعرف هذه الدوائر بالدوائر المنطقية باستخدام ترانزستور بالربط المباشر *(Direct Coupled Transistor Logic)* ويرمز لها بالرموز *DCTL* .

إذا أضيفت مقاومات مع الترانزستور ، كما فى شكل (٩٤ - ٤) ، للحصول على دالة *(NAND)* فان الدائرة تعرف بدائرة الترانزستور المنطقية باستخدام المقاومات *(Resistor Transistor Logic)* ويرمز لها *RTL* ومعادلة المخرج لهذه الدائرة هي

$$C = \overline{A_1 A_2 A_3}$$

ب - الدالـــة *"NOR" NOR Function*

فى هذه الحالة يكون مخرج الدالة *"NOR"* هو عكس مخرج الدالة *"OR"* وباعادة كتابة جدول الحقيقة للدالة وإضافة خانة بالجدول لمخرج الدالة *"NOR"* فان الجدول يصبح



شكل (٤-٩٢)

شكل (٤-٩٣)

شكل (٤-٩٤)

A	B	A OR B	A NOR B
+	+	+	-
+	-	+	-
-	+	+	-
-	-	-	+

ويرمز لمخرج الدائرة بالرمز C ويعبر عنه بالمعادلة

$$C = A \downarrow B$$

وعلى ذلك تكون جداول الحقيقة كالتالى

A	B	C
1	1	0
1	0	0
0	1	0
0	0	1

A	B	C
H	H	L
H	L	L
L	H	L
L	L	H

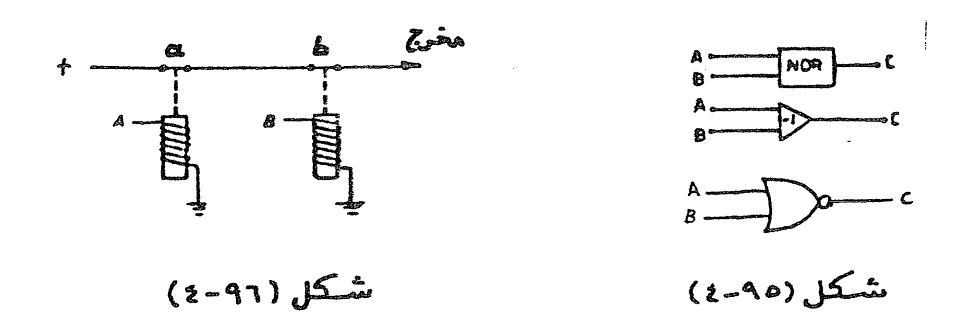
A	B	C
+	+	-
+	-	-
-	+	-
-	-	+

يوضح شكل (٩٥ - ٤) طرق تمثيل الدالة *"NOR"* .

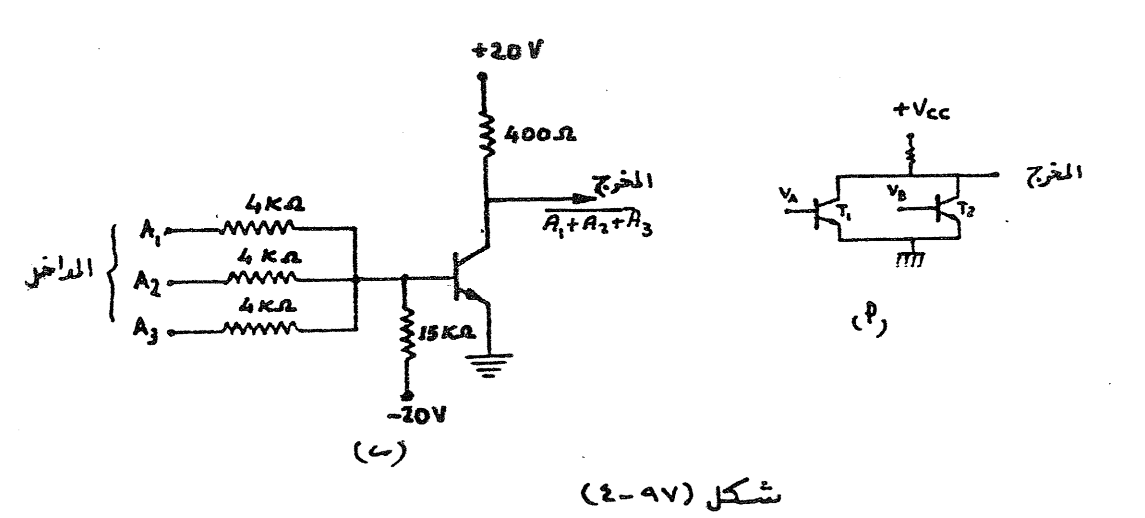
أما الشكل (٩٦ - ٤) يوضح تمثيل الدالة *"NOR"* فى متممات الوقاية التقليدية ويلاحظ أن الحالة الوحيدة التى يحدث منها مخرج هى عندما تنعدم إشارتى المدخل على كل من A , B .

كما يمكن الوصول لنفس النتيجة باستخدام ترانزستورين متصلين على التوازى والممثلة فى شكل (٩٧ - ٤)أ ، أو باستخدام ترانزستور واحد وأكثر من مدخل عن طريق مقاومات . وتكون معادلة المخرج لهذه الدائرة

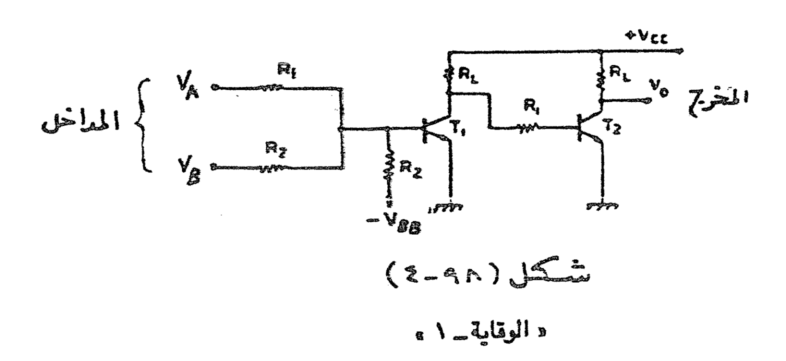
$$C = \overline{A_1 + A_2 + A_3}$$



شكل (٤-٩٦)　　　　شكل (٤-٩٥)



شكل (٤-٩٧)



شكل (٤-٩٨)

فى شكل (٩٨ - ٤) استخدمنا دائرة ترانزستور للحصول على دالة *NOR* يتبعها دائرة قالب *(inverter)* بحيث نحصل على مخرج لدالة *"OR"* ، أى نحصل على مخرج فى حالة وجود أى من المدخلين V_B أو V_A .

٣- تصنيف الدوائر المنطقية *Logic Circuit Classification*

تُصنف الدوائر المنطقية تبعاً للعناصر المكونة لها كالآتى :

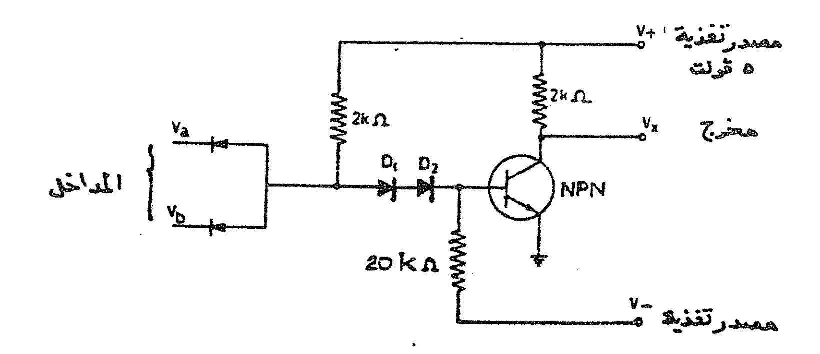
أ- دائرة منطقية بديود وترانزستور *Diode - Transistor Logic (DTL)*

تتكون الدوائر المنطقية من ديودات وترانزستورات ، ويوضح شكل (٩٩ - ٤) دائرة منطقية نحصل منها على الدالة *"NAND"* ، فإذا كانت إشارتى المدخل V_a ، V_b موجبتين فان التيار يمر نتيجة جهد المصدر $(+V)$ خلال الديودين D_2 ، D_1 إلى قاعدة الترانزستور مسبباً تحول الترانزستور إلى حالة التشبع (أى يصبح موصلاً) ، ويصبح جهد المخرج V_x للترانزستور مساوياً لجهد الأرض . وعلى ذلك تعمل الدائرة طبقاً للجدول الاتى :

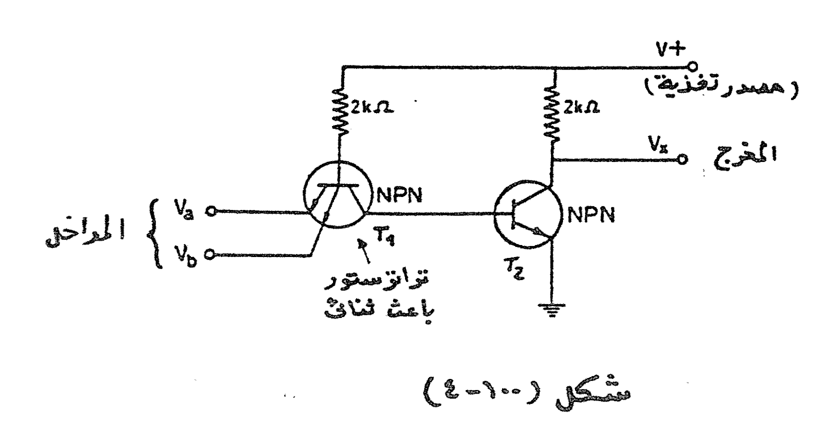
V_a	V_b	V_x
0	0	1
0	1	1
1	0	1
1	1	0

ويصبح الديودان D_1 ، D_2 فى حالة توصيل عند وصول الجهد الى قيمة أكبر من ١,٤ ڤولت (٠,٧ ڤولت لكل منهما) . والتأخير الزمنى لهذه الدائرة حوالى ٣٠ نينوثانية ، ويمكن باستخدام دوائر *DTL* الحصول على الدوال *AND , OR , NAND , NOR*

كما يمكن الحصول على هذه الدوال باستخدام الدوائر المتكاملة *ICs* أو باستخدام عناصر من الديودات والترانزستورات والمقاومات وتجميعها للحصول على الدوال .



شكل (٩٩-٤)



شكل (١٠٠-٤)

ب - دائرة منطقية ترانزستور ـ ترانزستور

Transitor Transistor Logic (TTL)

تتكون هذه الدوائر من دوائر متكاملة *ICs* فقط ولا يمكن تجميعها من ترانزستورات مفردة ، وتتكون الدائرة أساساً كما فى شكل (١٠٠ - ٤) ، نلاحظ أن الترانزستور T_1 يحتوى على مدخلين V_a ، V_b (وهذا لا يحدث إلا فى الدوائر المتكاملة) ، ويكون تيار المجمع عبارة عن مجموع تيارى الباعث (يعرف هذا الترنزستور بأنه ذى مداخل باعث متعددة *Multi-emitter input transistor*) .

وإذا كان أحد المدخلين V_a او V_b منخفض القيمة (اى الحالة صفر "0") ، فان تيار T_1 يكون موجباً ويعمل على تحويل الترانزستور T_2 الى حالة الفصل ويصبح جهد المخرج V_x مساوياً لجهد مصدر التغذية V_+ .

وفى حالة وجود جهد على كل من المدخلين V_b,V_a (الحالة "١" لكل منهما) ، فان وصلة المجمع ـ القاعدة للترانزستور T_1 تصبح ذات حياز امامى بينما وصلة باعث ـ القاعدة للترانزستور T_2 تصبح ذات حياز عكسى ، والنتيجة مخرج بعكس حالة المدخل . كما يصبح تيار الترانزستور T_1 معكوساً (سالباً) ، ومخرج T_2 يتحول الى حالة التشبع وينخفض جهد المخرج V_x الى جهد الارض (الحالة "O") وذلك يعنى أن هذه الدائرة تمثل دالة "*NAND*" وتتبع جدول الحقيقة الآتى

V_a	V_b	V_x
1	1	0
1	0	1
0	1	1
0	0	1

تصنف الدوائر المتكاملة *TTL'S* تبعاً لحجمها كالآتى :

- دوائر ذات مقياس كبير (*Large Scale Integrating*) ويرمز لها بالرموز *LSI* .

- دوائر ذات مقياس صغير (*Small Scale Integrating*) ويرمز لها بالرموز *SSI* (ومن أمثلتها دوائر الدوال *AND , NOR , NOT , OR, NAND*)

- دوائر ذات مقياس متوسط *(Meduim Scale Integrating)* ويرمز لها بالرموز *MSI* وتكون على شكل شريحة مستطيلة وتحتوى على عدد من الارجل : ١٤، ١٦، ٢٤، ٣٢ او ٤٠ . وتتكون الدائرة من عدد من الدوال . فمثلاً اذا كان لدينا شريحة من النوع *(Quad -2- input)* فانها تحتوى على أربعة دوال . كل دالة تحتوى على مدخلين *(Gate)* وكذلك توجد شرائح من النوع الثنائى *(Dual)* والتى تحتوى على دالتين مستقلتين ، او من النوع الاحادى *(Single)* ، او من النوع السداسى *(Hex)* ، الذى يحتوى على عدد ٦ دوال مستقلة .

تشترك جميع الشرائح فى احتوائها على طرف مصدر التغذية *(v+)* والارضى ، اما الدول المكونة للشريحة فتكون مستقلة عن بعضها ومن القيم التقريبية لمقننات دوائر *TTL'S* فهى كالآتى :-

- زمن التشغيل حوالى ١٠ نينو ثانية .
- معدل التبديد *(Dissipation Rate)* حوالى ١٠ مللى وات لكل مدخل .
- مصدر التغذية القياسى من صفر الى ٥ فولت بسماحية ± ١٢٥ مللى فولت .

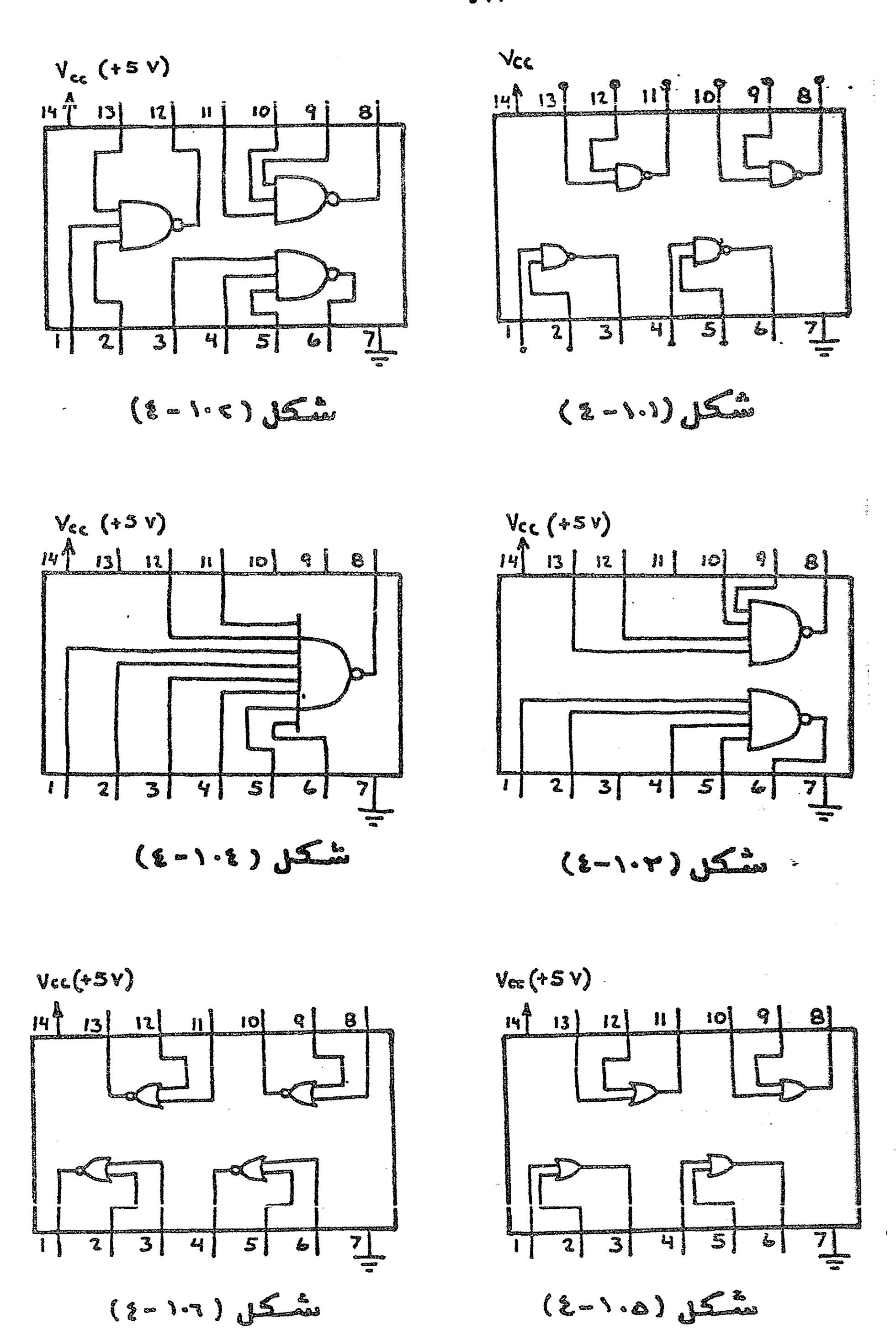
ويفضل توصيل مكثف ذو سعة ١ ميكروفاراد بين طرفى مصدر التغذية لامتصاص اى تموجات (او تشوهات) فى التيار المار خلال حالات تشغيل الشريحة .

وتوجد أنواع كثيرة جداً من الدوائر *TTL's* تستخدم فى متممات الوقاية الاستاتيكية

يوضح جدول (٢-٤) الانواع شائعة الاستخدام من حيث الطراز والوصف ثم الشكل التخطيطى وارقام الارجل به .

جدول(٢-٤)

م	النوع	الوصف	الشكل رقم
1	7400/74LS00	*Quad 2-input NAND gate* شريحة تحتوى على أربعة بوابات *NAND* كل منها تحتوى على مدخلين	شكل(٤-١٠١)
2	7410/74LS10	*Triple 3-input NAND gate* شريحة تحتوى على ثلاثة بوابات *NAND* كل منها تحتوى على ثلاثة مداخل	شكل(٤-١٠٢)
3	74LS20	*Dual 4-input NAND gate* شريحة تحتوى على بوابتان *NAND* كل منها تحتوى على اربعة مداخل	شكل(٤-١٠٣)
4	74LS30	*8 - Input NAND gate* شريحة تحتوى على بوابة *NAND* لها ثمانية مداخل	شكل(٤-١٠٤)
5	74LS32	*Quad OR gate "OR"* شريحة تحتوى على أربعة بوابات	شكل(٤-١٠٥)
6	7402/74LS02	*Quad NOR gate "NOR"* شريحة تحتوى على أربعة بوابات	شكل(٤-١٠٦)
7	7404/74LS04	*Hex Inverter* شريحة تحتوى على ٦ قالب	شكل(٤-١٠٧)
8	74LS123	*Dual one shot* شريحة تحتوى على إزاحتى زمن	شكل(٤-١٠٨)
9	74LS164	*8 - Bit Shift Register* مسجل إزاحة	شكل(٤-١٠٩)
10	7490/74LS90	*BCD (DECADE) Counter* عداد تناقصى	شكل(٤-١١٠)
11	74154	*4Line To 16- Line Decoder* فك الشفرة	شكل(٤-١١١)
12	7476/74LS76	شريحة تحتوى على دائرتى نطاط من النوع *JK* *Dual J-K Flip Flop*	شكل(٤-١١٢)
13	7473/74LS73	شريحة تحتوى على دائرتى نطاط من النوع *JK* *Dual J-K Flip -Flop*	شكل(٤-١١٣)
14	7474/74LS74	شريحة تحتوى على دائرتى نطاط من النوع *D* *Dual D Flip - Flop*	شكل(٤-١١٤)
15	74LS132	*Quad NAND Schmitt Trigger* شريحة تحتوى على اربعة دوائر اطلاق شميث "*NAND*"	شكل(٤-١١٥)



شكل (٤-١٠١)

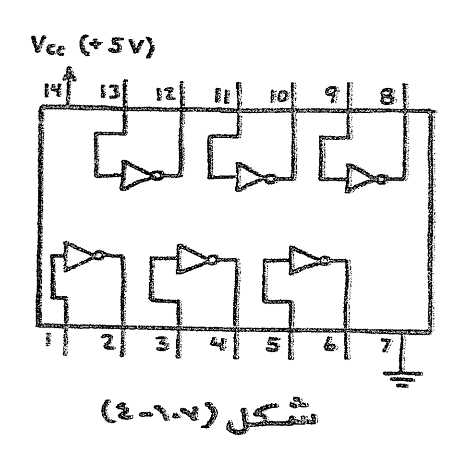
شكل (٤-١٠٢)

شكل (٤-١٠٣)

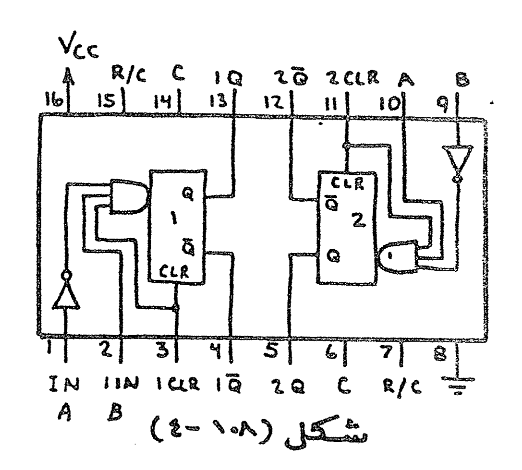
شكل (٤-١٠٤)

شكل (٤-١٠٥)

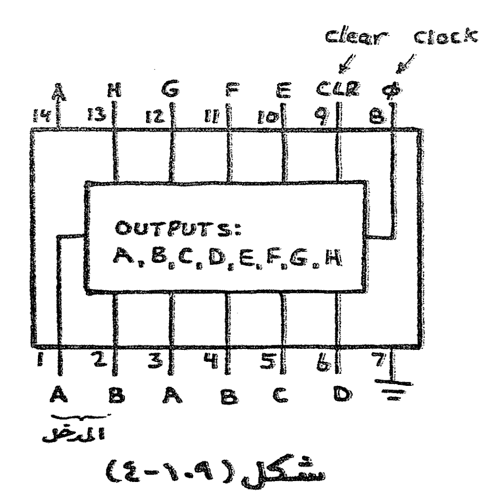
شكل (٤-١٠٦)



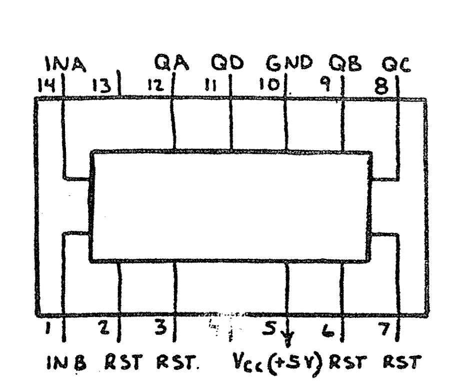
شكل (٤-١٠٧)



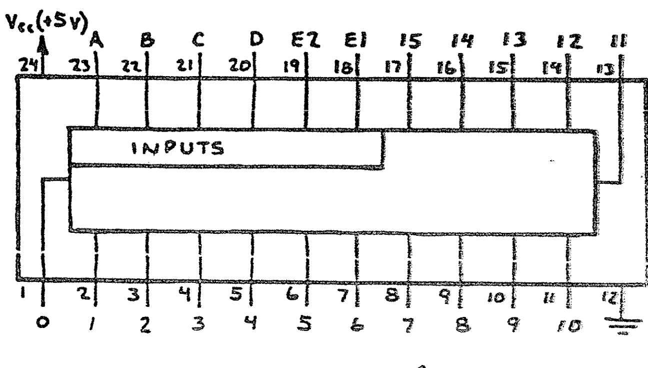
شكل (٤-١٠٨)



شكل (٤-١٠٩)

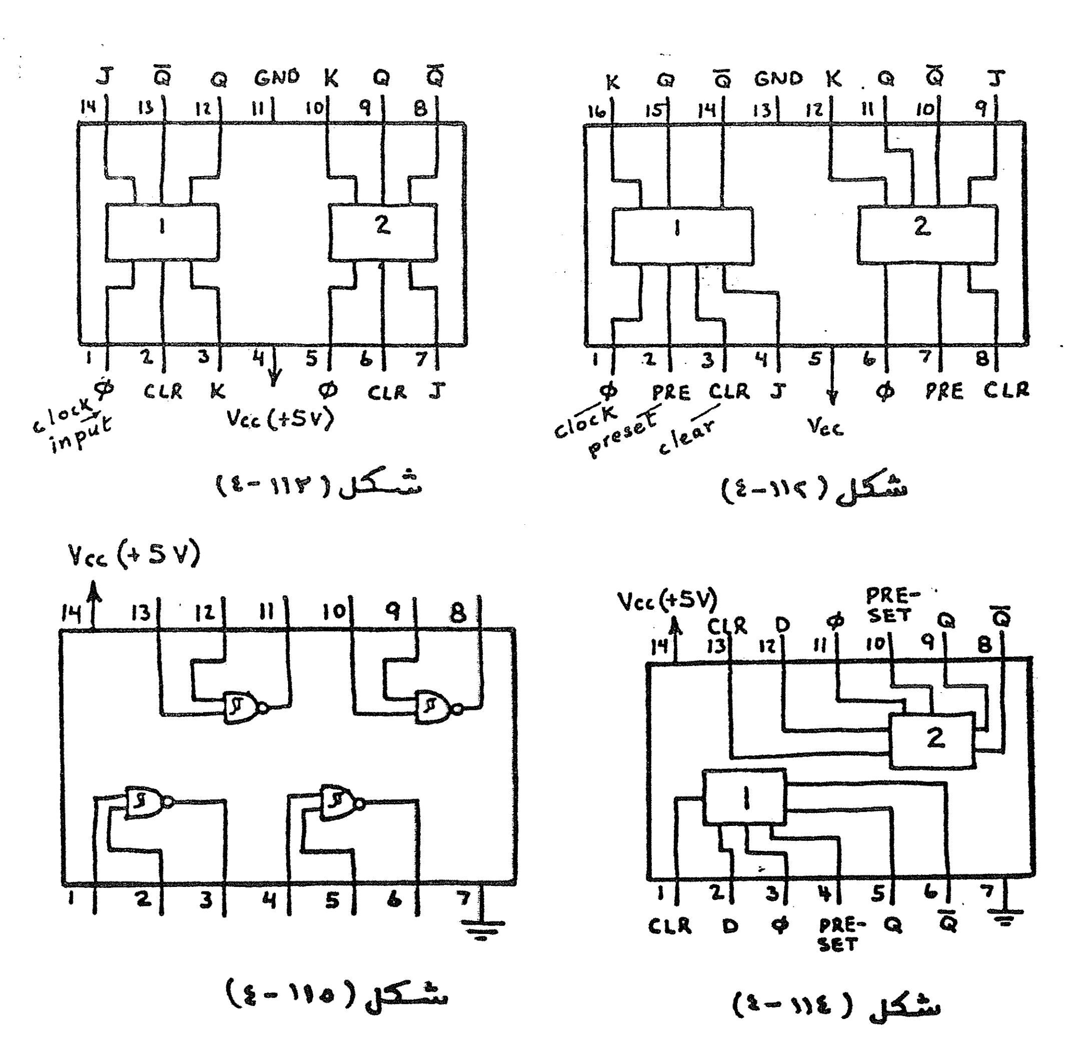


شكل (٤-١١٠)



شكل (٤-١١١)

« الوقاية ـ ١ »



شكل (٤-١١٢)

شكل (٤-١١٣)

شكل (٤-١١٤)

شكل (٤-١١٥)

وفيما يلى بعض الامثلة التوضيحية لدوائر $TTL's$

١) يوضح شكل (١١٦-٤) أ شريحة تحتوى على عدد ٤ بوابات (NAND) ، وطراز الشريحة 7400/74LS00 وتعتبر من الدوائر المتكاملة سهلة الاستعمال ولها مئات الاستخدامات حيث يمكن إستخدام بوابة واحدة فقط منها ، وفى هذه الحالة يرمز لها 1/4(7400) ، كما فى شكل (١١٦-٤) ب حيث يمكن ان نحصل منها على دالة قالب "Inverter"

فى شكل (١١٦-٤) جـ أستخدمنا بوابتين "NAND" من الشريحة للحصول على دالة "AND" والتى نحصل منها على مخرج فى حالة واحدة فقط وهى وجود اشارتى مدخل عند A,B.وفى شكل (١١٦-٤) ء لو استخدمنا عدد ٣ بوابات "NAND" من الشريحة نحصل على دالة "OR" وتكون الحالة الوحيدة التى لانحصل منها على مخرج هى عدم وجود إشارتى مدخل عند A,B .

اما فى شكل (١١٦-٤) هـ فقد استخدمنا الشريحة كلها للحصول على دالة "NOR" وتكون الحالة الوحيدة التى نحصل فيها على مخرج ، عندما لاتوجد إشارة مدخل عند كل من AوB .

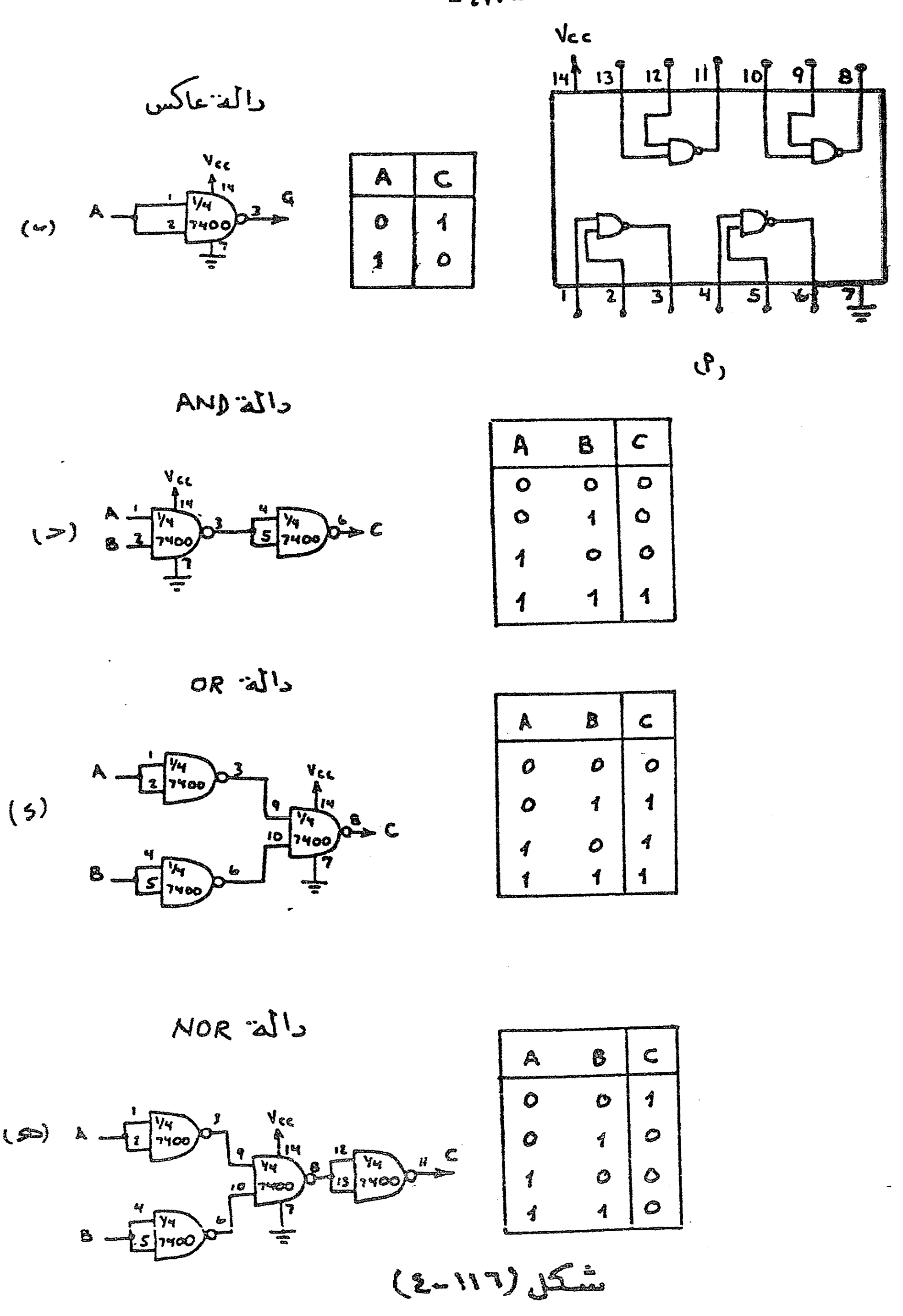
وفى جميع الاشكال السابقة يجب ملاحظة ان :-

- ايا كان عدد بوابات "NAND" المستخدمة فان مصدر التغذية V_{cc} يوصل على الطرف ١٤ وتوصل الارضى على الطرف ٧ .

- التوصيلات بين بوابات NAND تتم خارج الشريحة

٢) يوضح شكل (١١٧-٤) أ تطبيق لدائرة شريحة تحتوى على دائرتى نطاط (Flip-Flop) من النوع D طراز 7474/74LS 74 (إرجع الى شكل (١١٤-٤)) وبإستخدام بوابة واحدة (أى نصف الشريحة) نحصل على تشكيل موجة منتظمة من موجة غير منتظمة وتعرف هذه الدائرة بمقشطة الموجة (Wave Shaper) .

فى شكل (١١٧-٤) ب استخدمنا ايضاً نصف الشريحة فقط للكشف عن إختلاف الزاوية بين الموجتين المربعتين F_1,F_2 ففى حالة وجود اختلاف فى تردد الموجتين F_1,F_2 فان LED يضئ وتعرف هذه الدائرة بكاشف الوجة (Phase Detector) .



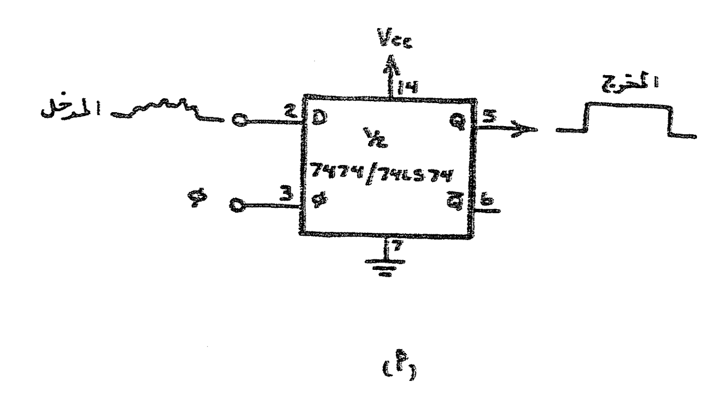
A	C
0	1
1	0

A	B	C
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

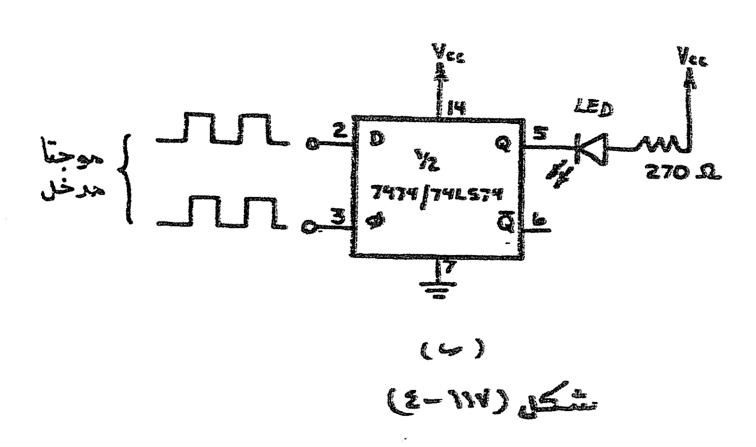
A	B	C
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

A	B	C
0	0	1
0	1	0
1	0	0
1	1	0

شكل (١١٦-٤)

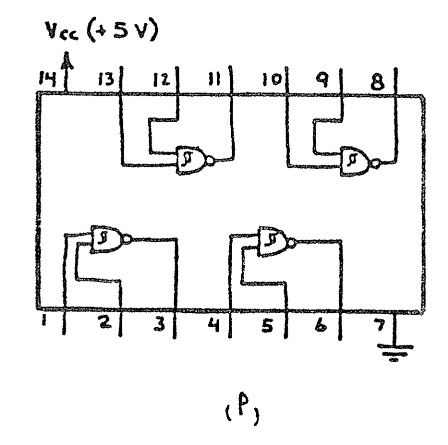

Vcc
14
المدخل
2
D
Q
5
المخرج
½
7474/74LS74
ϕ
3
ϕ
Q̄
6
7

(أ)

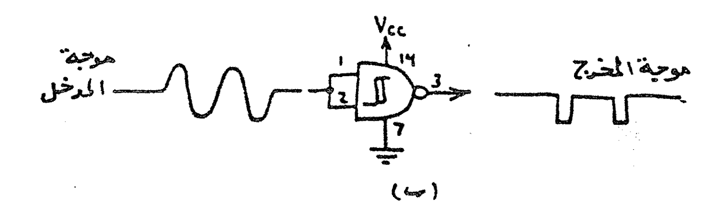

Vcc
14
Vcc
LED
موجتا
مدخل
2
D
Q
5
270 Ω
½
7474/74LS74
3
ϕ
Q̄
6
7

(ب)

شكل (١١٧-٤)



(أ)



(ب)

موجة مدخل

Vcc

موجة المخرج

(حـ)

موجة مدخل

مستوى البداية

Vcc

موجة المخرج

(د)

شكل (١١٨ ـ ٤)

٣) يوضح شكل (١١٨-٤) أ شريحة مكونة من أربعة بوابات لدالة *NAND* تستخدم لدائرة اطلاق "شميت" وفى شكل (١١٨-٤) ب إستخدمت بوابة واحدة من الشريحة للحصول على صائغ الموجة *(Wave shaper)* .

اما فى شكل (١١٨-٤) جـ فقد استخدمت بوابة واحدة للحصول على موجة معكوسة بدون اى تموجات وتعرف هذه الدائرة بحاذف الضوضاء *(Noise Eliminator)* وفى شكل (١١٨-٤) ء أمكن الحصول على موجة عند مستوى المبدئ *(Threshold level)* ، كما فى إشارة المدخل وبذلك تصبح إشارة المدخل معكوسة وتعرف هذه الدائرة بكاشف المبدئ *(Threshold Detector)* .

جـ- دوائــر *MOS* *Metal Oxide Semiconductor Logic or Metal Oxide Silicon Logic*

هذه الدوائر عبارة عن دوائر متكاملة *ICs* التى تكون احد النوعين :

١- اكسيد السيليكون من النوع *N* ويرمز لها بالرموز *NMOS*

٢- اكسيد السيليكون من النوع *P* ويرمز لها بالرموز *PMOS* .

ويوضح شكل (١١٩-٤) مكونات النوع *NMOS* بينما فى النوع *PMOS* تتغير اوضاع *N,P* التى فى شكل (١١٩-٤)

تتكون الدائرة من طبقة من ثانى أكسيد السيليكون SiO_2 توضع كطبقة عازلة بين الطبقة الاولية السيليكونية *(Substrate)* وبين منطقة الالومنيوم (اى البوابة) . وتحتاج هذه الدائرة الى جهد تغذية لتشغيلها فى حدود من ٣ الى ١٥ فولت .

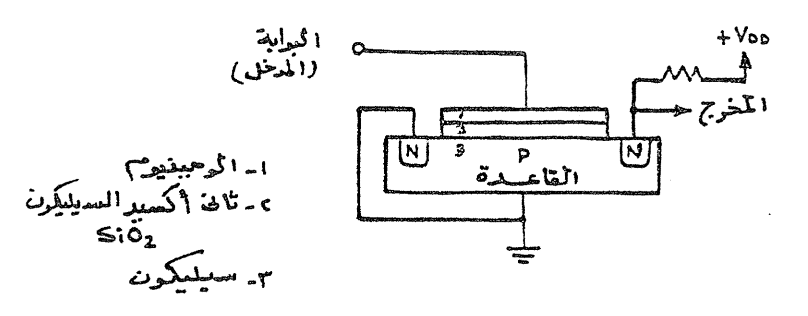
يوضح شكل (١٢٠-٤) أ تمثيل دائرة *MOS* ويوضح شكل (١٢٠-٤) ب العلاقــة بين الجهــد V_{DS} والتيار I_D .

وتستخدم دائرة *MOS* كمفتاح فصل - توصيل *(ON-OFF)* وتتميز بالآتى :-

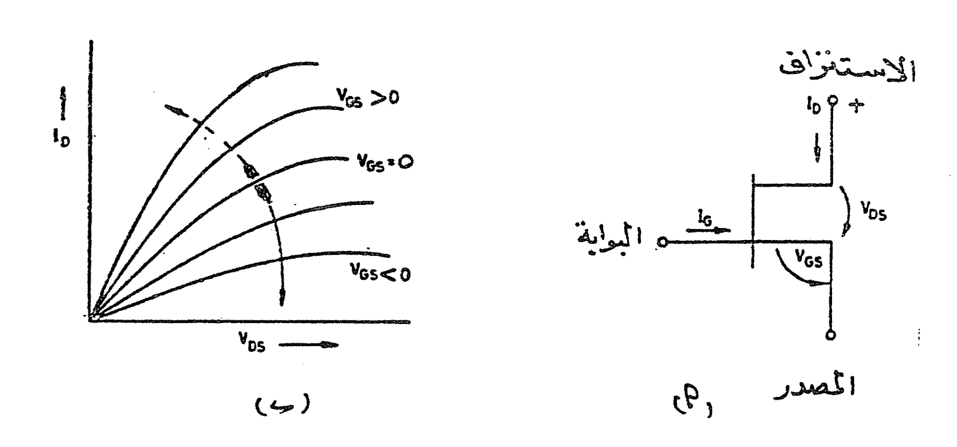
- تحتاج الى قدرة تشغيل منخفضة .
- تحتاج مساحة صغيرة اقل من الدوائر المنطقية الأخرى .

وتوجد دوائر منطقية تعرف بالرموز *COS/MOS* (وتعنى دوائر *MOS* المتكاملة المتماثلة *Complementry Symmetry MOS logic* واحياناً يرمز لها فقط بالرموز *CMOS* .وتستخدم للحصول على دوال *NOR , NAND* ودوال مركبة متعددة .كما تستخدم الدوائر *MOS,CMOS* كدوائر رقمية فى الاجهزة الاستاتيكية .

وتستخدم الدوال المنطقية المختلفة .. *OR,AND,NOR* فى متممات الوقاية



شكل (١١٩-٤)



شكل (١٢٠-٤)

كالآتى :

١ - فى دوائر القياس ، كمقارن .

٢ - فى دوائر التحكم والوشائع *(Interlocking)*

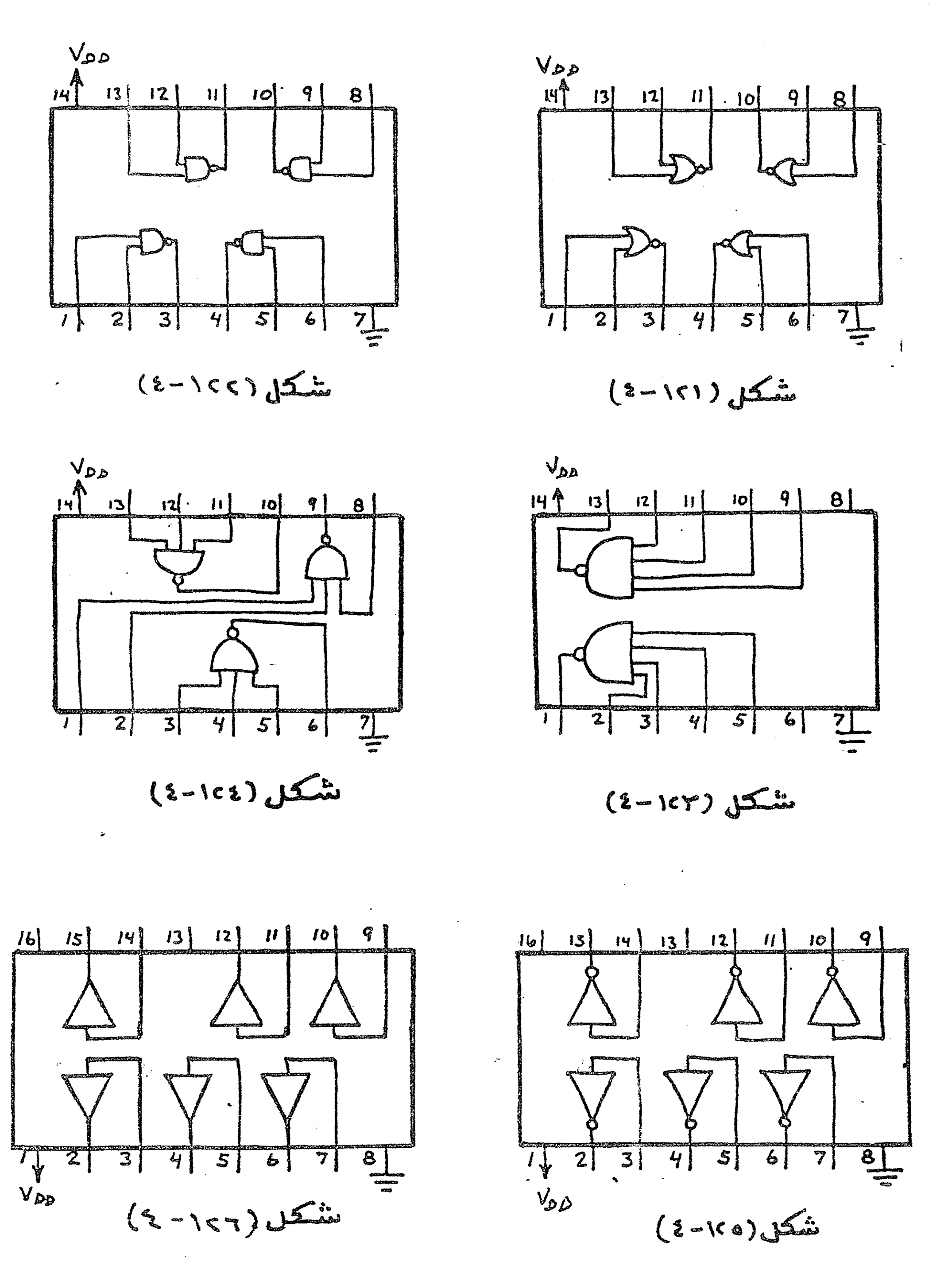
٣ - بداية وتحكم لمعدات إستهلاك القدرة .

٤ - فى الحاسبات الرقمية التشغيل عن بعد لمعدات الوقاية اللازمة.

ويوضح جدول (٣-٤) بعض الدوائر المتكاملة *CMOS/MOS* الشائعة الاستخدام

جدول(٣-٤)

م	الطراز	الوصف	
1	4001	*Quad NOR gate* شريحة تحتوى على عدد اربعة بوابات NOR	شكل(١٢١-٤)
2	4011	*Quad NAND gate* شريحة تحتوى على عدد اربعة بوابات NAND	شكل(١٢٢-٤)
3	4012	*Dual 4 - Input NAND gate* شريحة تحتوى على بوابتين NAND كل منهما تحتوى على عدد أربعة مداخل	شكل(١٢٣-٤)
4	4023	*Triple 3 - Input NAND gate* شريحة تحتوى على عدد ثلاثة بوابات NAND كلٍ تحتوى على عدد ثلاثة مداخل .	شكل(١٢٤-٤)
5	4049	*Hex Inverting Buffer* شريحة تحتوى على عدد ستة مصدات قالبة	شكل(١٢٥-٤)
6	4050	*Hex Non- Inverting Buffer* شريحة تحتوى على عدد ستة مصدات غير قالبة	شكل(١٢٦-٤)



شكل (١٢١-٤)

شكل (١٢٢-٤)

شكل (١٢٣-٤)

شكل (١٢٤-٤)

شكل (١٢٥-٤)

شكل (١٢٦-٤)

وفيما يلى سنوضح استخدامات احدى الشرائح والموضحة فى شكل (١٢٢-٤) وتحتوى على عدد ٤ بوابات "NAND" طراز 4011 ، حيث لها نفس استخدامات دائرة TTL طراز 7400/47LS500 بالاضافة الى استخدامات كثيرة أخرى .

يوضح شكل (١٢٧-٤) أ استخدام بوابة NAND واحدة من الشريحة طراز 4011 للحصول على دالة مقلوبة (Inverter) .

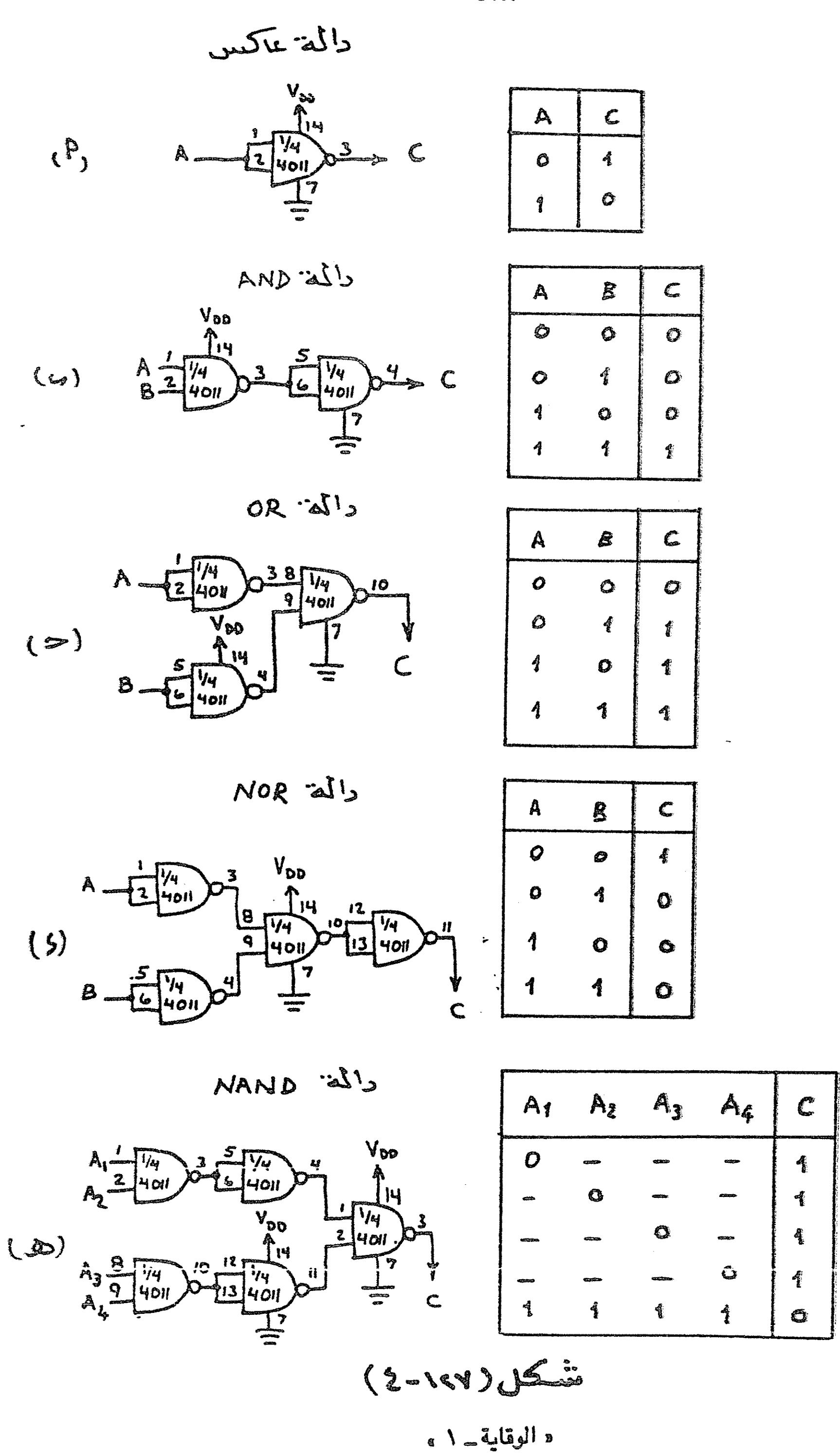
ثم استخدام بوابتان NAND من الشريحة للحصول على دالة (AND) كما فى شكل(١٢٧-٤)ب .

واستخدمت عدد ٣ بوابة NAND من الشريحة للحصول على دالة (OR) كما فى شكل(١٢٧-٤)جـ .

وأستخدمت الشريحة ككل للحصول على دالة (NOR) كما فى شكل (١٢٧-٤) ء .

أستخدمت شريحة كاملة بالاضافة الى بوابة NAND من شريحة أخرى كما فى شكل (١٢٧-٤) هـ وذلك للحصول على دالة NAND باستخدام عدد أربعة متغيرات دخول وهى A_1, A_2, A_3, A_4 ويلاحظ فى هذا الشكل توصيل الطرفين أرقام ٧ فى الشريحتين بالارض ، كذلك يتم تغذية الطرفين ١٤ فى كل من الشريحتين بمصدر التغذية V_{DD} .

(يجب توصيل جميع المداخل غير المستخدمة فى الشريحة طراز 4011 اما بالطرف ٧ او بالطرف ١٤) .



A	C
0	1
1	0

A	B	C
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

A	B	C
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

A	B	C
0	0	1
0	1	0
1	0	0
1	1	0

A_1	A_2	A_3	A_4	C
0	–	–	–	1
–	0	–	–	1
–	–	0	–	1
–	–	–	0	1
1	1	1	1	0

شكل (١٢٧-٤)

References

1 - *Switchgear and Protection*
SUNIL S. RAO

2 - *Applied Protective Relaying*
Westinghouse Electric Corporation
Relay - Instrument Division
Newark, N.J.07101

3 - *The art and science of protective Relaying*
C. Russell Mason

4 - *Power System Protection*
S.P.PATRA S.K.BASU S.CHOUDHURI
Department of Electrical Engineering, Jadavpur University

5 - *Power System Protection*
Volume 1
Edited by the Electricity Council
London

6 - *Power System Protection*
Volume 2
Edited by the Electricity Council
London

7 - *Power Systwm Protection and Switchgear*
B .RAVINDRANATH
M. CHANDER
Malaviya Regional Engineering Collage Jaipur .

8 Protective Relays : Their theory and practic .
Volume 1
By
A.R VAN C. Warrington

9 - Protective Relays : Their theory and Practic
Volume 2
By
A.R VAN C Warrington

10 - Power System Protection
Static Relays
Ts MADHAVA RAO

11 - Protective Relaying
Principles and Applications
J. Lewis Blackburn

12 - Electrical Instalation Handbook Editor Gunter G. Seip.

13 - Power System Protection
1 - Principles and Components
2- Systems and Methods
3 - Application
Edited by :
The Electricity Council .
Peter Peregrinus LTD .

للمؤلفة:

١. المكثفات و تحسين معامل القدرة
٢. المحولات الكهربائية – الجزء الأول
٣. المحولات الكهربائية – الجزء الثانى
٤. الوقاية فى الشبكات الكهربائية –الجزء الأول
٥. التوافقيات فى الشبكات الكهربائية
٦. جودة التغذية الكهربائية
٧. الإضاءة و توفير الطاقة
٨. الوقاية فى الشبكات الكهربائية – الجزء الثانى
٩. إدارة طلب الطاقة – الجزء الأول
١٠. البيئة و غازات الإحتباس الحرارى
١١. إدارة طلب الطاقة – الجزء الثانى
١٢. إضطرابات جودة التغذية الكهربائية
١٣. إرشادات لوسائل التوعية لترشيد إستخدام الطاقة
١٤. ٧٥ فرصة لترشيد إستخدام الطاقة
١٥. الفقد فى الطاقة الكهربائية
١٦. مؤشرات إعتمادية الأنظمة الكهربائية و خدمة المشتركين

رقم الايداع بدار الكتب المصرية
٣٧٨٣ / ٩٣رقم دولى I.S.B.N
977 - 5322 - 0/ - 4

دار الجامعيين
لطباعة الأوفست والتجليد
٣٧ شارع السلطان عبد العزيز
الأزاريطة ـ الإسكندرية
ت : ٤٨٦٢٠٠٤